

**ANÁLISE DE ÁREAS AGRÍCOLAS PARA DISPOSIÇÃO DO
LODO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS DE TIJUCAS - SC**

Gabriele Galvão Ferreira Campos

Gabriele Galvão Ferreira Campos

**ANÁLISE DE ÁREAS AGRÍCOLAS PARA DISPOSIÇÃO DO
LODO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS DE TIJUCAS - SC.**

Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina para a Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientadora: Dr.^a. Cláudia Lavina Martins

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho

Florianópolis
2017

Campos, Gabriele Galvão Ferreira

Análise de Áreas Agrícolas para Disposição do Lodo Proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos de Tijucas - SC.

Gabriele Galvão Ferreira Campos – Florianópolis, 2017.

x76, p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Título em Inglês: Analysis of Agricultural Areas for Disposal of Sludge from Tijucas/SC Sewage Treatment Plant.

UNIVERSIDADE DEFEERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

ANÁLISE DE ÁREAS AGRÍCOLAS PARA DISPOSIÇÃO DO
LODO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS DE TIJUCAS - SC.

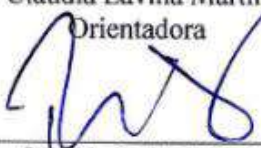
GABRIELE GALVÃO FERREIRA CAMPOS

Trabalho submetido a Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II.



Prof.ª Cláudia Lavina Martins, Dr.ª

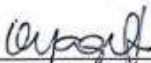
Orientadora



Prof. Paulo Belli Filho, Dr.

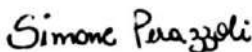
Coorientador

BANCA EXAMINADORA:



Prof.ª Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.ª

Universidade Federal de Santa Catarina



Simone Perazzoli, Doutoranda

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, criador do universo, por guiar meus caminhos e minha vida na concretização deste ideal.

À minha família, por todo apoio e carinho indispensável nesses longos anos da graduação, principalmente aos meus pais, pois sem eles em minha vida nada disso seria possível.

As pessoas especiais que Deus colocou em minha vida neste período, com as quais tive o privilégio de conviver, em especial ao Alecsandro, pois sem ele a caminhada teria sido mais difícil.

Aos meus orientadores, Professor Paulo Belli, pela disponibilidade em orientar esse trabalho e Professora Cláudia, por toda paciência, atenção, críticas e sugestões fundamentais ao meu trabalho.

À todos os amigos e colegas que de alguma forma contribuíram com meu crescimento pessoal e que me auxiliaram neste trabalho.

À MPB Engenharia e a SAMAE de Tijucas, pela disponibilização de dados para a realização deste estudo.

À UFSC, por todo conhecimento adquirido durante a fase de graduação.

RESUMO

As soluções relativas a crescente produção de lodo advindo de ETEs representam um grande desafio no que diz respeito à sua disposição final adequada. Inúmeros estudos apontam alternativas sustentáveis que visam possibilitar seu reaproveitamento, reciclagem e reutilização. Dentre as tecnologias mais utilizadas, estão o reaproveitamento industrial (na fabricação de produtos cerâmicos, como telhas, tubos, tijolos e lajotas) e o reaproveitamento agrícola (como fertilizante orgânico, compostagem e recuperação de solos degradados), entre outros. A disposição agrícola, quando atende os controles de eficiência quanto sua estabilidade e concentração de contaminantes, apresenta-se como uma das alternativas mais adequadas para reutilização do lodo, pois promove a melhoria dos solos onde este biossólido é incorporado. Sua aplicação é recomendada como condicionador de solo e/ou fertilizante, promovendo a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo estudar a viabilidade das terras agricultáveis que possam servir para aplicação do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos Tijucas, da SAMAE, localizada na cidade de Tijucas / SC. Para tanto, foi analisado o sistema de tratamento de esgotos domésticos de Tijucas para quantificar a produção de lodo e com isso calcular a área necessária à aplicação desse lodo na agricultura. Posteriormente foi realizada a avaliação de aptidão dos solos da área de estudo, que compreende 30 municípios, gerando um mapa de aptidão dos solos. Utilizando o ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), foram calculados e construídos os mapas com as áreas aptas a disposição do biossólido. Foi adotado para este estudo um raio de 40 km tendo como ponto central o local de instalação da UGL (Unidade Gerencial de Lodos) possibilitando selecionar as áreas viáveis para incorporação do lodo de esgoto. Os resultados mostraram que a necessidade de área para disposição do lodo da ETE Tijucas/SC foi de 1490 hectares, sendo que a demanda encontrada para este estudo foi de 1234 hectares. Constatou-se que a disposição agrícola do lodo é viável do ponto de vista técnico e ambiental, pois além de suprir as necessidades de área necessária, esta técnica reproduz os processos da natureza por promover a ciclagem de nutrientes e contribuir com a sustentabilidade do meio ambiente.

Palavras-chave: lodos de ETE, reuso, biossólidos, áreas agrícolas.

ABSTRACT

The solutions concerning the increasing production of sludge coming from STPs represent a major challenge with regard to their final disposal. Numerous studies point to sustainable alternatives that aim to enable its reuse, recycling and reuse. Among the most used technologies are the industrial reuse (in the manufacture of ceramic products such as roof tiles, pipes, bricks and tiles) and agricultural reuse (organic fertilizer, composting and recovery of degraded soils) among others. The agricultural arrangement, when it meets the efficiency controls as its stability and concentration of contaminants, presents as one of the most suitable alternatives for reuse of the sludge, as it promotes the improvement of the soils where this biosolid is incorporated. Its application is recommended as a soil conditioner and / or fertilizer, promoting the improvement of the physical, chemical and biological properties of the soil. In this context, the objective of this work is to study the feasibility of the agricultural land that can be used for the application of sludge from the Tijucas Sewage Treatment Plant, located in the city of Tijucas / SC. For that, the sanitary sewage system of Tijucas was analyzed to quantify the sludge production and with that to calculate the area necessary for the application of this sludge in agriculture. Subsequently, the soil suitability assessment of the study area was carried out, comprising 30 municipalities, generating a soil suitability map. Using the GIS (Geographic Information System) environment, maps were calculated and constructed with the areas suitable for the biosolids disposal. A 40 km radius was adopted for this study, having as a central point the installation site of the SLU (Sludge Management Unit), allowing the selection of viable areas for the incorporation of sewage sludge. The results showed that the need for the sludge disposal area of the Tijucas / SC STP was 1490 hectares, and the demand found for this study was 1234 hectares. It was verified that the agricultural disposition of the sludge is technically and environmentally viable, since besides supplying the necessary area needs, this technique reproduces the processes of nature by promoting the cycling of nutrients and contribute to environment sustainability.

Key words: STP sludge, reuse, biosolids, agricultural areas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Municípios pertencentes à área de estudo	37
Figura 2 - Uso e ocupação do solo (área de estudo).....	38
Figura 3 - Localização da ETE Tijucas	44
Figura 4 - Fluxograma do tratamento de esgoto e lodo da ETE Tijucas	45
Figura 5 - Gradeamento (A) e desarenador (B).....	46
Figura 6 - Tratamento biológico: Reator UASB (A), Entrada de efluente no UASB (B), Tanque de aeração (C) e Aeradores (D).	46
Figura 7 - Decantador secundário	47
Figura 8 - Lançamento do efluente tratado.....	47
Figura 9 - Tanque de adensamento seguido da Casa de Prensa.	48
Figura 10 - Local selecionado para a instalação da UGL.....	51
Figura 11 - Tipos de solo na área de estudo	53
Figura 12 - Mapa de aptidão dos solos.....	55
Figura 13 - Áreas agrícolas aptas a incorporação do lodo.....	56
Figura 14 – Raio de distância viável para o transporte do lodo.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de Tratamento	22
Tabela 2 - Teor de nutrientes e carbono em diversos tipos de biossólidos no Brasil (% de matéria seca)	33
Tabela 3 - Critérios para classificação da aptidão dos solos para disposição agrícola do lodo.....	41
Tabela 4 - Dados espaciais utilizados	43
Tabela 5 - Quantificação do lodo	49
Tabela 6 - Eficiências esperadas na ETE Tijucas	49
Tabela 7 - Classes de aptidão das terras para utilização agrícola de lodo e recomendações	54
Tabela 8 - Áreas agrícolas selecionadas por município	57
Tabela 9 - Resultado da quantificação das áreas estudadas	59

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ArcGIS – Programa de Sistemas de Informações geográficas
pertencente à ESRI®

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

FATMA – Fundação de Amparo ao Meio Ambiente

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IN-IAP – Instrução Normativa do Instituto Ambiental do Paraná

MS – Massa Seca

NBR – Norma Brasileira

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto

SIG – Sistema de Informação Geográfica

ST – Sólidos Totais

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UGL – Unidade Gerencial de Lodos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	21
2.1. OBJETIVO GERAL	21
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1. LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS	22
3.2. GESTÃO DO LODO DE ETE	24
3.2.1. <i>Etapas de tratamento do lodo</i>	24
3.2.1.1. Adensamento	24
3.2.1.2. Estabilização	25
3.2.1.3. Condicionamento	26
3.2.1.4. Desaguamento	27
3.2.1.5. Higienização	27
3.3. DISPOSIÇÃO FINAL DOS LODOS DE ESGOTOS	29
3.3.2. <i>Landfarming</i>	29
3.3.3. <i>Incineração</i>	30
3.3.4. <i>Aterro sanitário</i>	30
3.3.5. <i>Reaproveitamento Agrícola</i>	32
3.3.6. <i>Outras formas de reaproveitamento</i>	33
3.4. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	34
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	36
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	36
4.2. DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ETE TIJUCAS	39
4.3. DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE LODO	39
4.4. CÁLCULO DA ÁREA NECESSÁRIA PARA DISPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO	40
4.5. ESCOLHA DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DA UGL	40
4.6. SELEÇÃO DE ÁREAS AGRÍCOLAS PARA APLICAÇÃO DO BIOSSÓLIDO ..	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1. DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ETE TIJUCAS	44
5.2. DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE LODO	48
5.2.1. <i>Área agrícola necessária para disposição do lodo</i>	49
5.3. ESCOLHA DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DA UGL	50
5.3.2. <i>Higienização do lodo na UGL</i>	51

5.4. SELEÇÃO DE ÁREAS AGRÍCOLAS PARA A APLICAÇÃO DO	
BIOSSÓLIDO.....	52
5.4.3. <i>Análise de aptidão dos solos</i>	54
5.4.4. <i>Avaliação das áreas agrícolas aptas a incorporação do lodo</i>	55
6. CONCLUSÕES.....	60
7. RECOMENDAÇÕES.....	61
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
APÊNDICE A – FATORES QUE INFLUENCIAM NA	
CLASSIFICAÇÃO DA APTIDÃO DOS SOLOS PARA DISPOSIÇÃO	
DO LODO DE ESGOTO.....	70

1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental vem ganhando cada vez mais atenção dentro e fora do país, e com isso, discussões sobre a forma de destinar corretamente o lodo advindo das estações de tratamento de esgoto também vem recebendo destaque. No Brasil, estima-se que sejam geradas cerca de 150 a 220 mil toneladas de lodo (base seca), por ano, nas estações de tratamento de esgoto (ANDREOLI; PINTO, 2001).

O aumento do número de ETEs e a necessidade de se atender às exigências ambientais, vem contribuindo para o desenvolvimento de novas tecnologias que resultem em uma disposição segura e com baixo impacto ambiental desse lodo gerado, garantindo maior segurança e bem-estar para as populações envolvidas (VAN HAANDEL; ALÉM SOBRINHO, 2006).

A legislação brasileira, cada vez mais, está incentivando a utilização de técnicas para reaproveitamento dos materiais e resíduos gerados nos diversos processos de tratamento de esgoto. Dentre eles, destacam-se a área necessária para sua disposição em aterros, os custos operacionais envolvidos e as questões ambientais e sanitárias associadas. A importância da sua adequabilidade foi reconhecida na Agenda 21, através do tema “Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com esgotos”, cujas orientações básicas preveem a minimização da produção, o incentivo e aproveitamento máximo das tecnologias de reutilização e reciclagem, e o tratamento e disposição ambientalmente saudáveis (PEGORINI et al., 2003).

Assim, pesquisas relacionadas as tecnologias de reaproveitamento do lodo tem sido cada vez mais crescentes. Dentre as diversas alternativas existentes, cita-se: reaproveitamento agrícola (como fertilizante orgânico, compostagem e recuperação de solos degradados), industrial (na fabricação de produtos cerâmicos, como telhas, tubos, tijolos e lajotas), incineração e disposição em aterro sanitário, entre outros.

Essa última alternativa, apesar de ser a mais difundida no Brasil, pode trazer prejuízos ao ambiente, pela produção de lixiviados com alto potencial poluidor além de reduzir a vida útil do aterro sanitário.

Por outro lado, a reciclagem agrícola do lodo apresenta-se, dentro de critérios seguros, como uma das alternativas mais adequadas dos pontos de vista técnico, econômico e ambiental para a disposição deste resíduo. Esta opção tem se destacado por viabilizar a reciclagem de nutrientes, promover melhorias físicas, especialmente na estruturação do solo e por apresentar uma solução definitiva para a disposição do lodo,

transformando um rejeito em um importante insumo agrícola (ANDREOLI et al.,1994).

Essa técnica pode ser implementada com baixo custo, segurança sanitária e excelentes resultados agronômicos, além disso, contribui para fechar o ciclo ecológico dos nutrientes que são retirados do solo pela agricultura, melhora a resistência à erosão das terras agricultáveis e incentiva a implantação de métodos sustentáveis de produção agrícola (FERNANDES, 1999).

Diante deste cenário, esta pesquisa tem por objetivo verificar a viabilidade de áreas agrícolas para disposição do lodo proveniente de uma Estação de Tratamento de Esgotos, localizada na cidade de Tijucas / SC. Cabe ressaltar que os cálculos apresentados baseiam-se nas estimativas de projeto da ETE em estudo, visto que, a ETE ainda não realizou disposição de lodo devido ao curto tempo de operação.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Verificar a viabilidade de áreas agrícolas para disposição do lodo proveniente de uma Estação de Tratamento de Esgotos, localizada na cidade de Tijucas / SC.

2.2. Objetivos específicos

- Descrever e caracterizar o sistema de tratamento de esgotos da ETE Tijucas;
- Quantificar a produção de lodo gerado e a área necessária para sua aplicação;
- Analisar os solos de Tijucas e região quanto a aptidão em receber lodos de ETE.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Lodo de Estação de tratamento de Esgoto – Conceitos e características

O objetivo das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) é a remoção dos principais poluentes nas águas residuárias, adequando-as a uma quantidade desejada ao padrão vigente em lei para o seu lançamento nos corpos d'água receptores (SANTOS, 2003).

As ETEs são utilizadas com o objetivo de simular os fenômenos naturais de degradação em condições controladas. Estes métodos de tratamento, que tem como princípio o uso de forças físicas são conhecidos como operações unitárias; e os métodos que propiciam a remoção de contaminantes por meio de reações químicas e biológicas são denominados processos unitários. Essas operações e processos, constituem os vários níveis de tratamento denominados preliminar, primário, secundário e terciário ou avançado. Na Tabela 1 estão apresentadas as principais características de remoção para os diferentes níveis de tratamento de esgoto (METCALF; EDDY, 2003).

Tabela 1 - Níveis de Tratamento

Nível	Remoção
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros, materiais de maiores dimensões, areia e gorduras (são removidos com a finalidade de evitar danificações nos equipamentos e etapas subsequentes).
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis)
Secundário	DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário) DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos) Ocasionalmente, nutrientes e patógenos.
Terciário	Nutrientes, patógenos, sólidos inorgânicos dissolvidos, sólidos em suspensão remanescentes, compostos não biodegradáveis, metais pesados.

Fonte: METCALF; EDDY (2003); VON SPERLING (1996)

A composição do esgoto sanitário varia num intervalo de 99,8% a 99,99% de água e 0,01% a 0,2% de sólidos, sendo que do total de

sólidos, 70% são orgânicos e 30% inorgânicos. A fração sólida é formada pelos sólidos suspensos, compostos orgânicos (proteínas: 40% a 60%; carboidratos: 25 a 50%; e óleos e graxas: 10% gorduras etc.), nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais, sólidos inertes, sólidos dissolvidos inorgânicos, sólidos grosseiros, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos e, ocasionalmente, contaminantes tóxicos decorrentes de atividades industriais ou acidentais (ANDRADE NETO; CAMPOS, 1999; FERNANDES, 2000; MELO; MARQUES, 2000).

A característica do esgoto varia em função do local de origem (área tipicamente residencial ou tipicamente industrial), da situação social e econômica, dos hábitos da população, da época do ano e do processo utilizado na ETE (VON SPERLING, 1996; MELO; MARQUES, 2000).

O lodo de esgoto pode ser definido como os sólidos removidos do esgoto sanitário durante o processo de tratamento, resultante da sedimentação de sólidos em suspensão do esgoto, areia e microrganismos. É constituído pela fração sólida de contaminantes concentrados removidos do esgoto, composta por uma mistura de matéria orgânica e inorgânica, que durante o processo de tratamento do esgoto permanece acumulada no sistema, os quais, precisam ser removidos periodicamente ou continuamente de acordo com o tipo de tratamento adotado. Se estes sólidos receberem tratamento, passam a ser denominados de biossólidos, que por sua vez, são resultantes da degradação biológica ou química da matéria orgânica (METCALF; EDDY, 2003; MACKENZIE, 2010).

Tipicamente, o lodo de esgoto é composto por matéria orgânica, macro e micronutrientes, além de elementos potencialmente perigosos e indesejáveis, que dificultam sua utilização e disposição final (BETTIOL; CAMARGO, 2006). No entanto, essa composição é muito variável, pois, além da origem do esgoto, depende do processo de tratamento e da sazonalidade e, no caso do lodo industrial, depende ainda das matérias-primas utilizadas e do processo industrial empregado (TRANNNIN et al., 2005).

Segundo Andreoli e Pinto (2001), no Brasil, a geração de lodo está estimada em 150mil a 220 mil toneladas de matéria seca por ano. Mesmo considerando que esse dado foi obtido em 2001, são valores altos de produção de lodo que atualmente devem estar em maiores proporções.

Entre os resíduos produzidos nas ETEs, os lodos destacam-se pelo grande volume gerado e pela complexidade de gerenciamento, que normalmente envolve diversas etapas de processamento, além do seu elevado potencial poluidor. (ANDREOLI, 1999).

3.2. Gestão do lodo de ETE

As principais etapas do tratamento do lodo nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) são: adensamento, estabilização, condicionamento, desidratação ou desaguamento, higienização e disposição final. A implantação ou não de cada unidade vai depender das características do lodo gerado e do produto final que se queira obter, além dos custos envolvidos (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001; FERNANDES et al., 1999).

A gestão adequada do lodo é uma atividade de alta complexidade e fundamental para o sucesso de um sistema de tratamento. Apesar do lodo gerado representar apenas cerca de 1 a 2% do volume de esgoto tratado, seu gerenciamento chega a atingir entre 20 e 60% do custo operacional de uma estação de tratamento de esgotos (SPERLING; ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Desta forma, seu gerenciamento nas ETEs torna-se um dos principais desafios no que diz respeito a busca de novas alternativas que não sejam somente sua disposição em aterros sanitários. Seu tratamento e sua disposição final devem ser geridos para minimizar problemas ambientais provocados por seu lançamento, como odores e contaminação dos corpos hídricos (patógenos) (HALLEY; MILLER, 1991).

3.2.1. Etapas de tratamento do lodo

3.2.1.1. Adensamento

O adensamento do lodo tem por finalidade reduzir a umidade da massa de lodo para que se possa posteriormente submete-lo à etapa de desidratação. Para que isto ocorra é fundamental que se obtenha uma concentração de sólidos totais (ST) no lodo de entrada da ordem de 2%. Essa é a concentração mínima que os equipamentos de desidratação mecânica existentes no mercado recomendam para que o funcionamento dos mesmos ocorra de maneira adequada (GUIMARÃES, 2007). Essa etapa proporciona a redução de volume requerido para tanques de digestão e a quantidade de produtos químicos para seu condicionamento (METCALF; EDDY, 2003).

O emprego de adensadores do lodo do tipo centrífugas e filtros de esteira (prensas desaguadoras) apresentam resultados amplamente favoráveis, principalmente para o excesso de lodo ativado, cujo adensamento por gravidade é particularmente difícil (JORDÃO, 1995).

O adensamento é um processo físico de concentração de sólidos no lodo visando reduzir sua umidade e, consequentemente seu volume, facilitando as etapas subsequentes de tratamento do lodo (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Os tipos de adensamento mais comuns são: por gravidade, flotação com ar dissolvido, centrífuga, adensador de esteira e tambor rotativo (METCALF; EDDY, 2002).

- Adensamento por gravidade

A teoria do adensamento do lodo por gravidade tem como base a presença de partículas, granulares e flocosas, as quais ao serem submetidas a processo de sedimentação e adensamento têm procedimentos diferentes. Este fenômeno é também conhecido como sedimentação em massa (JORDÃO; PESSOA 1995).

- Adensamento por flotação

O adensamento por flotação consiste no processo de separação líquido-sólido através de ar difuso, provido pela injeção de bolhas de gás, usualmente ar, na massa líquida. As bolhas de gás aderem às partículas sólidas diminuindo sua densidade, de modo a promover o arraste ou flutuação, até a superfície da massa líquida. (JORDÃO; PESSOA, 2005).

Segundo Von Sperling (1996), o adensamento do lodo ativado é mais eficiente através do método de flotação do que por gravidade. Trata-se de um método que utiliza a injeção de ar difuso proporcionando condições aeróbicas que auxiliam na inibição da liberação do fósforo para a massa líquida.

- Adensamento por centrifugação

Segundo Von Sperling e Andreoli (2001), a centrifugação é um processo de separação sólido/líquido forçada pela ação de uma força centrífuga. Em uma primeira etapa de clarificação, as partículas sólidas que compõem o lodo sedimentam a uma velocidade muito superior ao que ocorreria sob ação da gravidade. Em uma segunda etapa, ocorre a compactação, quando o lodo perde parte da água capilar sob ação prolongada da centrifugação. A torta de lodo é removida do processo após esta última etapa do desaguamento. Ainda segundo este autor, as centrífugas são os únicos equipamentos utilizados indistintamente para adensamento e desaguamento de lodo.

3.2.1.2. Estabilização

Ocorre nesta etapa a redução de matéria orgânica (redução de sólidos voláteis). A estabilização do lodo pode ser um processo físico, químico ou biológico que objetiva reduzir a concentração de microrga-

nismos patogênicos e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação do lodo e, conseqüentemente, seu potencial de produção de odores (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001; MALTA, 2001). Os processos de estabilização podem ser do tipo Estabilização biológica (por digestão anaeróbia e digestão aeróbia), Estabilização térmica e Estabilização química. A seguir são melhor descritos os processos (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

- Digestão anaeróbia

O método mais empregado para estabilizar o lodo é a digestão anaeróbia, onde o lodo bruto é encaminhado para o interior de digestores biológicos totalmente fechados onde bactérias anaeróbias e facultativas estabilizam a matéria orgânica produzindo gás carbônico, metano, massa celular e outros micronutrientes (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

- Digestão aeróbia

É um processo de oxidação bioquímica dos sólidos biodegradáveis contidos nos esgotos, na presença de oxigênio dissolvido em toda a massa líquida, favorecendo, assim, a atividade das bactérias aeróbias na formação do lodo digerido, do gás carbônico e da água. Objetiva principalmente a redução dos sólidos biodegradáveis e odores, bem como deixa o lodo em condições favoráveis à desidratação. (ANDREOLI et al., 1999).

- Estabilização térmica

Obtida a partir da ação do calor sobre a fração volátil em recipientes hermeticamente fechados.

- Estabilização química

Na estabilização química são adicionados ao lodo produtos que podem inibir a atividade biológica ou oxidar a matéria orgânica. O tratamento químico mais utilizado é a via alcalina, em que uma base, normalmente a cal, é misturada ao lodo, elevando seu pH e destruindo a maior parte dos microrganismos patogênicos (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

3.2.1.3. Condicionamento

Nesta etapa é realizada a preparação para a desidratação (principalmente mecânica). O condicionamento é um processo utilizado para

melhorar as características de separação das fases sólido-líquida do lodo. É realizado através de meios físicos ou químicos (ALÉM SOBRINHO, 2001).

Para auxiliar no desaguamento do lodo é necessária a utilização de produtos químicos conhecidos como agentes coagulantes. Esses produtos são aplicados ao lodo para favorecer a agregação das partículas de sólidos e formação de flocos. O condicionamento do lodo pode ser realizado através da utilização de polímeros orgânicos, produtos químicos inorgânicos ou de tratamento térmico (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001)

3.2.1.4. Desaguamento

Esta etapa tem a função de redução adicional de umidade (redução de volume). Os processos de desaguamento podem ser divididos em métodos de secagem natural e métodos mecânicos (ANDREOLI, et al., 2006).

Os processos naturais apresentam maior restrição quanto à disponibilidade de área, enquanto os processos mecânicos são mais sensíveis à qualidade do lodo. No Brasil os principais processos naturais utilizados são: leitos de secagem, lagoas de lodos e canteiros de mineralização. Quanto aos processos mecânicos, os mais empregados são: centrífugas, prensas desaguadoras e filtros-prensa (VON SPERLING, 2005).

3.2.1.5. Higienização

A etapa de higienização visa eliminar ou reduzir significativamente a densidade de microrganismos, tornando o produto final biologicamente seguro para as diferentes aplicações desejadas (PASSAMANI et al, 2002).

A higienização do lodo tem como objetivos: (a) reduzir a quantidade de patógenos, (b) eliminar os maus odores, (c) inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação (MIKI et al., apud PEGORINI; ANDREOLI, 2006).

Estas alternativas possuem como princípios de desinfecção do lodo a temperatura e o pH. Estes fatores apresentam faixas em que os organismos se mantém presentes ou em desenvolvimento no lodo, ou destruídos. A intensidade e o tempo em que os microrganismos são submetidos a estas condições inóspitas determinam a eficiência da desinfecção (ILHENFELD, 1999).

Nesta etapa ocorre a remoção de organismos patogênicos. A desinfecção ou higienização pode ser realizada por vários métodos como a

Adição de Cal, Tratamento Térmico, Compostagem e Oxidação úmida entre outros. Estas soluções devem levar em consideração fatores como a viabilidade econômica, segurança e facilidade de aplicação prática. Dentre os processos mais utilizados, destacam-se: a compostagem, a caleação ou estabilização alcalina, a pasteurização e a secagem térmica (VON SPERLING, 2005).

- Compostagem

De acordo com Tsutiya (2001), a compostagem é um processo de biodegradação aeróbia. Durante este processo a temperatura é elevada naturalmente a uma faixa de 55 a 65 °C, proporcionando a eliminação ou redução dos microrganismos patogênicos.

- Caleação ou estabilização alcalina

De acordo com Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001) a caleação é um método com grande potencial de consolidação pela alta eficiência na desinfecção, relativa facilidade no procedimento (se comparado à compostagem) e pelo baixo custo. Além disso, a maior parte dos solos brasileiros apresentam caráter ácido, necessitando de correção do pH através aplicação de calcário para as práticas agrícolas. Dependendo da proporção de cal e das doses de uso, a reciclagem agrícola do lodo alcalino pode minimizar ou mesmo substituir essa operação, trazendo grandes vantagens ao produtor rural.

A inertização do lodo pela adição de cal preconizada pela EPA (1994) envolve a adição de quantidades suficientes de cal para alcançar e manter o pH 12 pelo período mínimo de 2 horas. A calagem pode inviabilizar ovos de helmintos, porém, desde que respeitados os períodos de carência, que são variáveis segundo a dosagem de cal. Os ovos remanescentes não apresentam viabilidade biológica, portanto, não apresentam potencial infectivo (ILHENFELD et al, 1999 apud MADER NETTO, et. al., 2003).

- Tratamento Térmico

O tratamento térmico tem sido uma alternativa para a destruição e/ou inativação de organismos patogênicos. O tempo de exposição do lodo a uma determinada temperatura é fundamental para garantir a sua higienização, sendo necessário conhecer a relação desses dois parâmetros na destruição e inativação dos parasitas e microrganismos patogênicos mais termoresistentes. O conhecimento da curva de sobrevivência térmica de organismos indicadores de qualidade sanitária possibilita

estimar a relação adequada entre o tempo de exposição do lodo e determinadas temperaturas, suficientes para alcançar a higienização (PEDROZA et al., 2006).

3.3. Disposição final dos lodos de esgotos

O destino final do lodo é a última etapa do sistema de tratamento, sendo sua prática adequada a garantia da conclusão bem sucedida do sistema. Sem a correta destinação do lodo, todo o investimento na implantação e operação de uma ETE, bem como os benefícios ambientais e sanitários, ficam comprometidos, tendo, entre outras consequências, a degradação dos recursos naturais e alterações na saúde da população (PEGORINI, 2002). Em países em desenvolvimento, as alternativas mais usuais para a disposição final de lodo tem sido aterro sanitário, incineração e reciclagem agrícola, as quais respondem por cerca de 90% do lodo produzido no mundo (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

Dentre as várias técnicas possíveis de serem adotadas para disposição final do lodo de ETEs temos: (i) disposição em aterros sanitários, (ii) incineração dos resíduos (iii) disposição como biossólidos, (iv) disposição controlada em certos tipos de solos (*landfarming*), (v) aplicações industriais diversas, e (vi) outras novas aplicações.

3.3.2. *Landfarming*

As fazendas de lodo (em inglês *landfarming*) é um método de tratamento para resíduos sólidos, em que o substrato orgânico do resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo. É um processo relativamente simples e consiste na mistura do resíduo com a camada de solo existente na zona arável, a qual deve ser revolvida periodicamente. Por ser um processo aberto sem qualquer sistema de impermeabilização inferior ou superior, uma fazenda de lodo mal gerenciada pode trazer problemas imediatos de contaminação de águas superficiais, subterrâneas, do ar e do solo, tornando este último impróprio para usos futuros (BIDONE; POVINELLI, 1999).

O produto resultante da mistura lodo + resíduo pode ser utilizado tanto em cobertura diária/intermediária quanto em cobertura final, porém, precisa estar previamente estabilizado (reduzido teor de sólidos voláteis) e com umidade inferior a 50% para o primeiro caso e 80% para o segundo. Nas coberturas finais, para se evitar deslizamentos nas encostas laterais, recomenda-se que o lodo seja misturado com solo, aparas de madeira ou cinzas em proporção a ser definida em função da qualida-

de deste material (solo) e dos parâmetros geotécnicos e agrônômicos requisitados (GRIFFIN et al., 1998).

Segundo Ferreira e Andreoli (1999), esta alternativa apresenta um baixo custo e se bem instalada e monitorada, é inócua ao meio ambiente e de simples execução. Esta técnica é utilizada em diversos países como os Estados Unidos, o Canada, Itália, Noruega, China, Austrália e a África do Sul (LEBLANC; MATTHEWS; RICHARD, 2008).

3.3.3. Incineração

A incineração é um método de tratamento que utiliza a decomposição térmica via oxidação, torna o resíduo menos volumoso, menos tóxico ou atóxico (FERREIRA, ANDREOLI e JURGENSEN, 1999). Esta alternativa possui como vantagens uma grande redução do volume do lodo, sua inertização dentro dos critérios ambientais e a possibilidade de recuperação de energia (TSUTIYA, 2001).

Segundo O'Dette (1999), deve-se ressaltar que, para utilização em cerâmica, há uma tendência de se utilizar as cinzas resultantes da incineração do lodo, ao invés do lodo apenas seco a 105 °C ou mesmo da torta, que é a maneira pela qual esse resíduo é geralmente obtido nas estações de tratamento de esgoto. Em algumas cidades a prática de incineração do lodo, apesar de apresentar ainda um custo elevado, vem sendo cada vez mais utilizada e visa diminuir ainda mais os volumes para o seu destino final.

A incineração não é considerada, por vários autores, como uma prática de disposição final, uma vez que o processo gera como resíduo as cinzas, que podem acarretar em problemas de poluição atmosférica que devem ser dispostas adequadamente. Dependendo das características do lodo, de 10 a 30% do total de sólidos secos permanecem como cinzas. Geralmente as cinzas são dispostas em aterros, sendo então mais um elemento para composição dos impactos relacionados a essa alternativa de disposição, uma vez que nas cinzas concentram-se os compostos não eliminados pelo processo de decomposição térmica, como os metais pesados (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

3.3.4. Aterro sanitário

O aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro dos resíduos (normalmente, recobrimento com argila selecionada e compac-

tada em níveis satisfatórios), evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais (BIDONE; POVINELLI, 1999).

O aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro dos resíduos (normalmente, recobrimento com argila selecionada e compactada em níveis satisfatórios), evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais (BIDONE; POVINELLI, 1999).

São conhecidos como o método mais oportuno e barato de dispor a parcela sólida não reciclável, entretanto esse método pode causar vários problemas. Viana (1999) ressalta que os aterros sanitários, embora importantes, apresentam algumas limitações como o tempo de vida razoavelmente curto e a grande dificuldade na obtenção de locais adequados para sua implantação nas proximidades dos centros urbanos, que não aqueles considerados de recarga de aquíferos. Adicionalmente, a produção de chorume e o seu tratamento são outro fator de preocupação na operação de aterros sanitários (FARIA, 2000).

A disposição em aterros não requer um tratamento apurado do lodo. O principal fator limitante é o teor de sólidos, que deve ser de pelo menos 15 a 20% de ST. Este teor é necessário para evitar a geração excessiva de chorume e para não prejudicar a estabilidade do aterro. Desta forma, o desaguamento normalmente é a única exigência para disposição de lodo de esgoto em aterro (BITTENCOURT, 2014).

No Brasil, grande parte do lodo produzido tem como destino final o aterro sanitário, sendo esse processo denominado “co-disposição”, uma vez que o lodo é disposto juntamente com os resíduos sólidos domiciliares (LUDUVICE; FERNANDES, 2001).

Para Tsutiya (2000), o aterro é geralmente necessário para atender os objetivos de absorção dos lodos com características inadequadas ao uso benéfico, absorção de volumes excedentes a demanda, disposição de cinzas de incineração e garantia de disposição final adequada independente de quaisquer fatores.

Segundo Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001) existem duas modalidades de disposição:

- **Aterro sanitário exclusivo**, que recebe apenas lodo, cujo teor de sólidos deve ser superior a 30% ou mesmo seco termicamente;
- **Co-disposição com resíduos sólidos urbanos**, onde o lodo é misturado com resíduos sólidos urbanos.

A mistura do lodo aos resíduos urbanos tende a acelerar o processo de biodegradação, porém o inconveniente é a redução da vida útil do aterro, caso a quantidade de lodo a ser disposto seja significativa.

3.3.5. Reaproveitamento Agrícola

O termo “biossólido”, é empregado para o lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários, após passar por processos de tratamento que provocam a sua estabilização biológica (TSUTIYA,1999). É o lodo do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos processado de modo a permitir o seu manuseio de forma segura na utilização agrícola (CETESB, 1999).

Os biossólidos são usados no reaproveitamento agrícola como fertilizante orgânico, compostagem e recuperação de solos degradados e pesquisas nessa área são cada vez mais frequentes. A aplicação de biossólidos em áreas agrícolas, florestas, áreas degradadas e áreas de mineração, traz benefícios às propriedades físicas do solo, pois ele é um condicionador que melhora a formação de agregados, a infiltração, a retenção da água e a aeração do solo (BETTIOL; CAMARGO, 2000).

É importante salientar que a incorporação do biossólidos na agricultura é uma prática da moderna agricultura que busca aumentar a produção agrícola de forma sustentável, reduzindo o uso de fertilizantes químicos, e considerando as limitações na disponibilidade de alguns componentes químicos, tais como o fósforo (DIAZ-AVELAR et al., 2007 *apud* VELÁZQUEZ-RODRIGUES, 2001).

A reciclagem agrícola do lodo de esgoto dentro de critérios seguros é uma das alternativas mais adequadas dos pontos de vista técnico, econômico e ambiental para a disposição deste resíduo. Esta opção tem se destacado por viabilizar a reciclagem de nutrientes, promover melhorias físicas, especialmente na estruturação do solo e por apresentar uma solução definitiva para a disposição do lodo, transformando um rejeito em um importante insumo agrícola (ANDREOLI et al.,1994).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), a aplicação do lodo no solo é benéfica visto que a matéria orgânica melhora a estrutura do solo, a infiltração e a capacidade de retenção de água e a aeração do solo. Além disso, também melhora a capacidade de troca iônica do solo, o que beneficia a retenção de potássio, cálcio e magnésio.

O lodo de esgoto possui características que favorecem sua aplicação como condicionador de solo e na agricultura. Destaca-se a grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes. A Tabela 2 apresenta o teor de nutrientes e de carbono presentes nos diversos tipos de biossólidos de

acordo com o esgoto e com o processo de tratamento que lhe deu origem.

Tabela 2 - Teor de nutrientes e carbono em diversos tipos de biossólidos no Brasil (% de matéria seca)

Estação	Tipo de lodo	N	P	K	C. org	Ca	Mg
Barueri (SP)	Lodo ativado	2,25	1,48	0,01	21,00	7,29	-
Franca (SP)	Lodo ativado	9,15	1,81	0,35	34,00	2,13	-
Belém (PR)	Lodo ativado	4,19	3,70	0,36	32,10	1,59	0,60
UASB (PR)	Anaeróbio	2,22	0,67	0,95	20,10	0,83	0,30
ETE SUL (DF)	Aeróbio	5,35	1,70	0,18	62,50	2,68	0,41
Eldorado (ES)	Lagoa anaeróbia	2,00	0,20	0,04	-	-	-
Mata da Serra (ES)	Lagoa facultativa primária	2,00	0,20	0,05	-	-	-
Valparaíso (ES)	Lagoa de sedimentação	4,00	3,50	0,07	-	-	-

Fonte: Adaptado de ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES (2001).

Cabe ressaltar que a concentração de nutrientes no biossólido pode não estar perfeitamente balanceada de acordo com a demanda das plantas, sendo necessária a complementação com outras fontes de fertilizantes, orgânicos ou químicos, de acordo com as necessidades nutricionais específicas da cultura. Os elementos geralmente suplementados são o fósforo, exigido em grandes quantidades nos nossos solos, e o potássio, devido à baixa concentração deste elemento no biossólido (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES (2001).

É preciso salientar, porém, a necessidade do atendimento dos requisitos mínimos, conforme a legislação vigente (Resolução CONAMA 375/2006, no Brasil), para a adequada reciclagem do lodo na agricultura.

3.3.6. Outras formas de reaproveitamento

A incorporação do lodo de esgotos na fabricação de produtos cerâmicos, como telhas, tubos, tijolos e lajotas, tem-se mostrado uma alternativa viável de destinação adequada. O lodo é adicionado ao processo durante a etapa de preparação da massa cerâmica e auxilia na correção de umidade. Isso pode ser feito manualmente, com pás carregadeiras, ou em olarias mais tecnificadas, utilizando-se equipamentos apropriados (ANDREOLI et al., 2006).

Em termos de lodos de esgotos, as opções que minimizem sua produção são tomadas tanto nas estações de tratamento como nos sistemas de disposição final. Podem incluir a otimização de processos anaeróbios de tratamento de esgotos, que geram menores volumes de lodos (mais estabilizados), ou a digestão anaeróbia do produto, que reduz seu volume em até 40%. No tocante aos sistemas de destinação, a tendência mundial aponta às soluções de reutilização do produto como fator de diminuição de custos a médio e longo prazo e de preservação da qualidade ambiental (CANADÁ, 1984).

3.4. Legislação Ambiental

O lodo de esgoto pode ser enquadrado dentro de uma das classificações da NBR 1004 de acordo com sua periculosidade ou características. Segundo a NBR 10004 (ABNT, 1987a), resíduos sólidos são os resíduos nos estados sólido e semissólido que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. De acordo com esta norma os resíduos sólidos são classificados em três classes:

- Resíduos classe I – perigosos;
- Resíduos classe II – não-inertes;
- Resíduos classe III – inertes.

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos –PNRS, define reciclagem como um processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos. Essa lei tem como princípio, entre outros, o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania. Além disso, um dos objetivos da PNRS é a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, devendo ser observada, na gestão e no gerenciamento dos resíduos, essa ordem de prioridade. Desta forma, podemos considerar um processo de reciclagem o uso agrícola do lodo de ETE, pois ele passará por um processo de tratamento que irá alterar suas propriedades físicas, químicas e biológicas, sendo transformado em um insumo agrícola.

A resolução CONAMA Nº 375/2006, define os critérios e procedimentos para a utilização do lodo de esgoto no meio agrícola/florestal, definindo também critérios e procedimentos para o uso agrí-

cola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Essa Resolução determina que os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto sejam submetidos a processos de redução de patógenos e da atratividade de vetores, para que possam ser utilizados na agricultura.

A legislação federal define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário. A legislação estadual, no caso do estado do Paraná, a complementa, dispondo sobre licenciamento ambiental com condições e padrões ambientais, além de outras providências, para empreendimentos de saneamento (POGGERE et al., 2012).

Segundo a resolução, a caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado a ser aplicado deve incluir os seguintes aspectos: potencial agrônômico; substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas; indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e estabilidade. Para a caracterização do potencial agrônômico do lodo de esgoto ou produto derivado deverão ser determinados, de acordo com esta Resolução, os seguintes parâmetros: carbono orgânico, fósforo total, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio, nitrato/nitrito, pH na água, potássio total, sódio total, enxofre total, cálcio total, magnésio total, umidade, sólidos voláteis e totais (CONAMA 375, 2006).

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

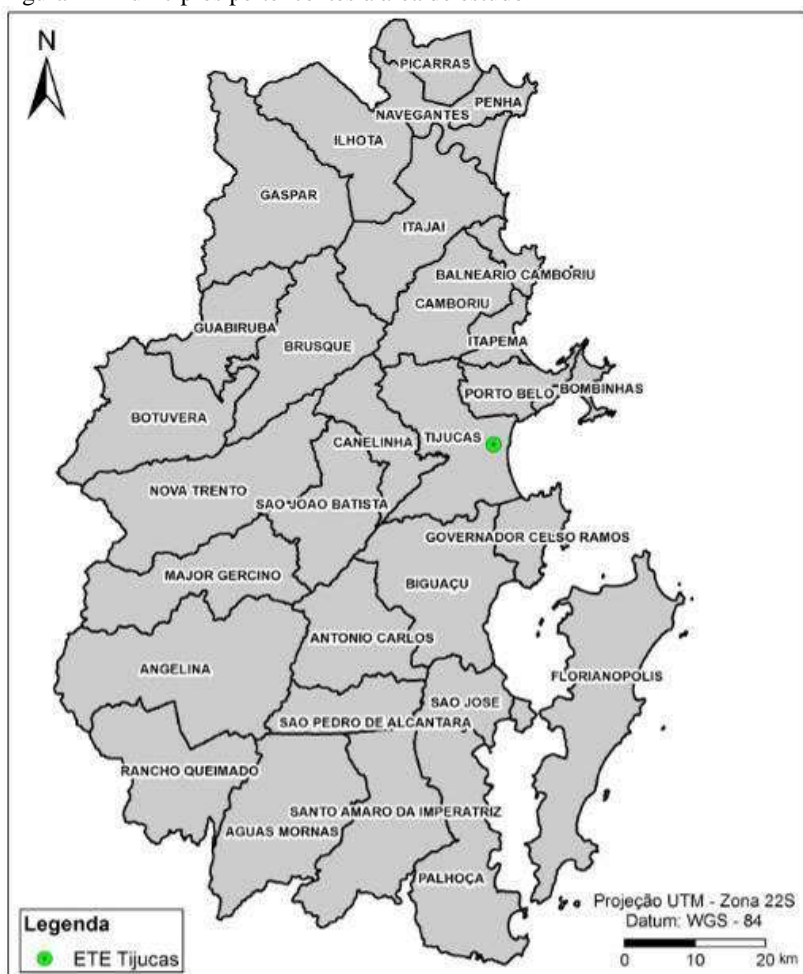
4.1. Caracterização da área de estudo

O sistema de esgotamento sanitário avaliado está localizado no município de Tijucas. O município situa-se na Região Nordeste do Estado de Santa Catarina, Região Sul do Brasil e possui uma área total de 278,90 km², dos quais 24,70 km² são considerados perímetro urbano e 254,20 km² como área rural. Segundo o censo de 2010, realizado pelo IBGE, a população de Tijucas era de 30.960 habitantes, dos quais, estima-se que 9.000 deles são atendidos pelo sistema de coleta e tratamento de esgoto atualmente.

O sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário é operado pelo Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE, o qual foi criado em 17 de dezembro de 1997 através da Lei No 1.458/97. Segundo a versão preliminar do Plano Municipal de Saneamento Básico de Tijucas produzido em abril de 2016 praticamente 100% da população urbana do município é atendida com rede de água. No caso do esgoto a situação é outra, pois a cidade não dispunha de nenhum sistema de coleta e tratamento de esgoto em funcionamento até o ano passado, quando a ETE começou a operar, sendo que as soluções existentes eram exclusivamente individuais com utilização de Fossa/Sumidouro ou Fossa/Filtro Anaeróbio e na ausência destas soluções individuais os esgotos brutos eram lançados nos corpos de água da região, em valas a céu aberto ou nas galerias de águas pluviais. Atualmente o sistema de esgoto sanitário abrange aproximadamente 30% da população contando com 5.500 ligações e é responsável pela geração de 1728m³/dia de esgoto sanitário que é encaminhado para a ETE Tijucas.

Neste estudo, além do sistema de esgotamento sanitário de Tijucas, foram caracterizadas as áreas agricultáveis das cidades que circundam a região (Figura 1). Sendo assim, a área de estudo é composta por 30 municípios e ocupa uma área de aproximadamente 7 mil km².

Figura 1 - Municípios pertencentes à área de estudo

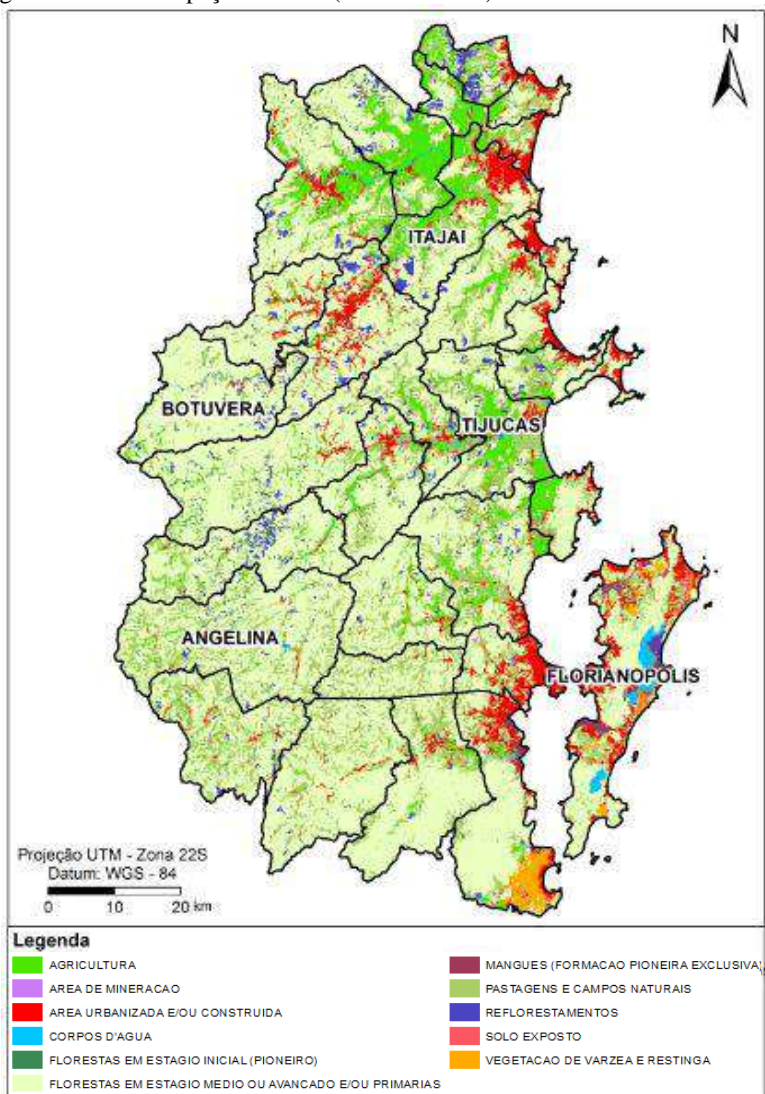


Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos dados geoespaciais fornecidos pela Fundação do Meio Ambiente (FATMA), foi possível elaborar o mapa de uso e ocupação do solo da região apresentado na Figura 2, onde é possível verificar que a área é ocupada predominantemente por florestas em estágio médio ou avançado, totalizando cerca de 62% da superfície estudada.

As áreas agrícolas, alvo deste estudo, representam 7,2% da área total, somando cerca de 49.238 hectares.

Figura 2 - Uso e ocupação do solo (área de estudo)



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a realização da análise da viabilidade dos solos e atender os objetivos deste trabalho, foram definidas algumas etapas que são descritas a seguir:

4.2. Descrição e caracterização da ETE Tijucas

Para a descrição e caracterização da Estação de Tratamento de Esgoto de Tijucas, foram coletados dados e informações referentes ao tratamento de esgoto, a produção de lodo e sua disposição final.

Para tanto, as informações referentes ao sistema de tratamento foram fornecidas pela MPB Engenharia (responsável pelo projeto básico e executivo da ETE Tijucas) através de memoriais descritivo e de cálculo dos projetos básico e executivo, bem como seus respectivos desenhos técnicos.

Além disso, foram fornecidos dados pela SAMAE de Tijucas a respeito as condições atuais de operação da ETE e disposição final dos resíduos.

Para complementar as informações, foi realizada uma visita técnica a ETE Tijucas no dia 17 de maio de 2017, onde procurou-se conhecer o funcionamento e operação da estação. Além disso, foram registradas através de fotografias, todas as etapas de tratamento do esgoto e lodo da ETE.

Assim, as informações obtidas foram:

- Nome da estação de tratamento de esgotos;
- Localização e coordenadas geográficas;
- Layout da ETE;
- Vazão de projeto e de operação atual;
- Descrição e características das unidades e processos de tratamento existentes e futuros;
- Técnica de adensamento e desidratação do lodo em operação;
- Imagens dos processos de tratamento de toda a ETE.

4.3. Diagnóstico da Produção de Lodo

A partir dos projetos básico e executivo da ETE Tijucas foi possível conhecer as vazões de projeto, que foram verificadas no dia da visita à ETE. Verificou-se também, por meio dos projetos fornecidos pela empresa MPB Engenharia, executora do projeto, o volume de lodo produzido para o final de plano na ETE Tijucas.

Através dos parâmetros adotados no memorial de cálculo da ETE e das informações de volume de lodo produzido foi possível calcular a massa de lodo desaguado (Equação 1) e em base seca resultante (Equação 2), levando em consideração o peso específico do lodo desaguado de 1,02 toneladas por metro cúbico (ton/m^3).

$$QLD = VLD * pLD \quad (1)$$

Onde:

QLD = Quantidade de lodo desaguado, em ton/ano;

VLD = Volume do lodo desaguado, em m³/ano;

pLD = peso específico do lodo desaguado, em ton/m³:

$$QMSLD = QLD * SSLD \quad (2)$$

Onde:

QMSLD = Quantidade equivalente em Massa Seca de lodo desaguado, em ton MS/ano;

QLD = Quantidade de lodo desaguado, em ton/ano;

SSLD = Teor de sólidos no lodo desaguado, em porcentagem (%).

4.4. Cálculo da área necessária para disposição do lodo de esgoto

Para o cálculo da área necessária para a aplicação do lodo foi utilizada a metodologia proposta na Instrução Normativa do Instituto Ambiental do Paraná (IN-IAP, 2003), a qual dispõe sobre o licenciamento ambiental para utilização agrícola de lodo de estações de tratamento de esgotos.

Segundo Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001) a taxa de aplicação é função da necessidade de nutrientes da espécie a ser cultivada, da qualidade agronômica do biossólido (principalmente teor de N), do solo onde será aplicado e da qualidade físico química do biossólido (concentração de metais pesados e poder reativo).

Usualmente utiliza-se o cálculo da taxa de aplicação em função do nitrogênio disponível ou de outros nutrientes relevantes para a cultura a ser implantada no local, como descrito anteriormente, porém por não possuir dados do lodo referentes aos parâmetros citados, optou-se por utilizar uma das metodologias da IN-IAP/2003 (PARANÁ, 2003), a qual define que a taxa de aplicação do biossólido não poderá exceder ao aporte máximo de 50 toneladas secas do biossólido por hectare num prazo de 10 anos.

4.5. Escolha do local de Instalação da UGL

Conhecendo a localização da estação de tratamento e o volume de lodo produzido por ela, foi realizada a análise e a determinação de um local para implantação da Unidade Gerencial de Lodos (UGL).

Esta Unidade Gerencial de Lodos tem como objetivo centralizar e torná-lo apto a este tipo de destinação a partir de processos de estabilização e higienização quando necessários.

O local ideal é escolhido levando em consideração basicamente a distância da ETE até a UGL, de forma que os custos de transporte sejam minimizados. Este estudo foi essencial para auxiliar na definição das áreas aptas que receberão o lodo.

4.6. Seleção de áreas agrícolas para aplicação do biossólido

Para a seleção das áreas agrícolas foi utilizada a metodologia proposta por Souza et. al. (1994), na qual define critérios para elaboração do mapa de aptidão dos solos. A metodologia consiste em adotar graus de limitação (0 a 5) para critérios relacionados às características do solo e uso do solo, enquadrando-os em classes conforme é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios para classificação da aptidão dos solos para disposição agrícola do lodo.

Fator	Critério	Grau de limitação	Classe
Profundidade	Latossolos, Nitossolos, Cambissolos profundos e Argissolos profundos.	0 - Nulo	I
	Cambissolos com citação de pouca profundidade e	2 - Moderado	III
	Argissolos com citação de pouca profundidade		
	Neossolos ou outras unidades com citação de solos rasos.	3 - Forte	V
Textura superficial	Textura argilosa (35 a 60% de argila).	0 - Nulo	I
	Textura muito argilosa (> de 60% de argila)	1 - Ligeiro	II
	Textura média (15-35% de argila).	2 - Moderado	III
	Textura siltosa (<35% de argila e <15% de areia).	3 - Forte	IV
	Textura arenosa (<15% de argila).	4 -Muito forte	V
Suscetibilidade à erosão	Solos em relevos plano.	0 - Nulo	I
	Solos argilosos ou muito argilosos em relevo suave ondulado	1 - Ligeiro	II

Tabela 3 – Critérios para classificação da aptidão dos solos para disposição agrícola do lodo.

(continuação)

Fator	Critério	Grau de limitação	Classe
Suscetibilidade à erosão	Solos de textura média ou siltosa em relevo suave ondulado e solos com textura argilosa e muito argilosa em relevo ondulado.	2 - Moderado	III
	Solos em relevo ondulado com textura arenosa e/ou caráter abrupto ou relevo forte ondulado associado à textura muito argilosa.	3 - Forte	IV
	Relevo forte ondulado, com textura média e arenosa.	4 -Muito forte	V
	Relevo montanhoso ou escarpado independente da classe textural.		
Drenagem	Solos acentuadamente e bem drenados	0 - Nulo	I
	Fortemente drenados	1 - Ligeiro	II
	Solos moderadamente	2 - Moderado	III
	Solo imperfeitamente e excessivamente drenado	3 - Forte	IV
	Solos mal e muito mal drenados	4 -Muito forte	V
Relevo	Relevo plano (0-3%)	0 - Nulo	I
	Relevo suave ondulado (3-8%).	1 - Ligeiro	II
	Relevo ondulado (8-20%).	2 - Moderado	III
	Relevo forte ondulado (20-45%).	3 - Forte	IV
	Relevo montanhoso ou escarpado (maior que 45%).	4 -Muito forte	V
Pedregosidade	Solos sem fase pedregosa.	0 - Nulo	I
	Citação de pedregosidade na legenda	2 - Moderado	III
	Solos com fase pedregosa	4 - Forte	V
Hidromorfismo	Solos sem indicação de hidromorfismo	0 - Nulo	I
	Solos com caráter gleico	2 - Moderado	IV
	Solos hidromórficos	4 -Muito forte	V

Fonte: Adaptado de Souza et al (1994).

De acordo com Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001), a aptidão propriamente dita é definida como a classe mais restritiva obtida. Por exemplo, o solo pode ser enquadrado como classe I para profundidade, III para textura, III quanto à suscetibilidade à erosão, IV como relevo e I para pedregosidade, hidromorfismo e pH. A classe de aptidão final deste solo será IV; considerando o grande risco associado à forte declividade da gleba, risco elevado para erosão e escoamento superficial.

Para a conclusão desta etapa foram obtidos os arquivos espaciais no formato *shapefile* para o Estado de Santa Catarina contendo as informações de características do solo, municípios do estado e uso e ocupação. As informações referentes aos arquivos são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados espaciais utilizados

<i>Dado espacial (shapefile)</i>	<i>Datum original</i>	<i>Escala</i>	<i>Fonte</i>
MUNICIPIOS_DE_SANTA_CATARINA	SAD69	1:2.500.000	IBGE (2007)
SOLOS_SC	WGS84	1:250.000	Embrapa Solos (2004)
USO_DO_SOLO_POL	SAD69	1:50.000	FATMA/Geoambiente (2008)

Fonte: Elaborado pela autora.

Os mapas preliminares foram criados para cada critério como ferramenta de auxílio à análise. Em seguida foi realizada a sobreposição de todos os mapas elaborados, dando origem ao mapa de aptidão dos solos.

Na sequência foi realizada a intersecção destas informações com as áreas agrícolas, obtidas a partir do mapa de uso e ocupação de Santa Catarina. Como resultado obteve-se o mapa de terras agricultáveis aptas a incorporação do lodo.

A partir destas informações foi possível comparar as terras disponíveis com as terras necessárias para disposição do lodo e avaliar a viabilidade técnica e ambiental de implementação desta alternativa.

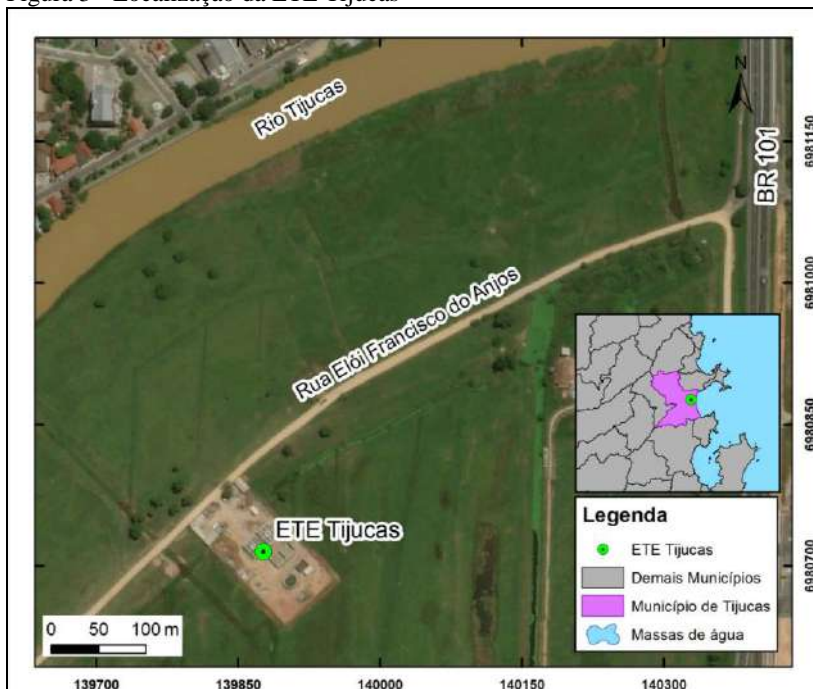
Todo o procedimento foi realizado em ambiente SIG, por meio do programa de georreferenciamento ArcGIS.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Descrição e caracterização da ETE Tijucas

A ETE Tijucas está localizada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude de 48° 07' Oeste e longitude de 27° 03' S de Greenwich, atende a aproximadamente 9.000 habitantes. Atualmente a ETE opera com uma vazão média de aproximadamente 20 L/s pois as ligações à ETE ainda estão em andamento. Para a primeira e a segunda etapa de operação da estação foram projetadas vazões médias de 74,0 L/s e 98,0 L/s respectivamente. O mapa de localização pode ser observado na Figura 3.

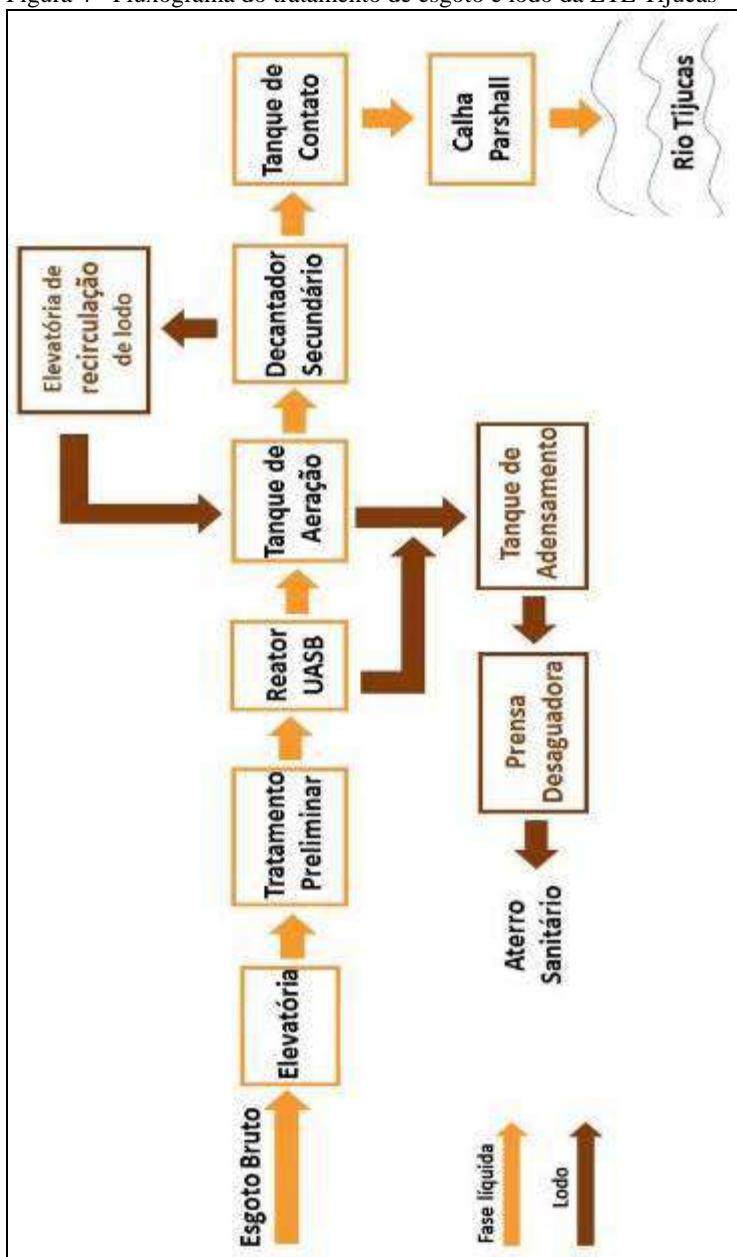
Figura 3 - Localização da ETE Tijucas



Fonte: Elaborado pela autora.

A ETE Tijucas apresenta como tratamento biológico: UASB seguido de lodos ativados. Na Figura 4 está apresentado o fluxograma das etapas de tratamento do esgoto e do lodo na ETE.

Figura 4 - Fluxograma do tratamento de esgoto e lodo da ETE Tijucas



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao chegar à ETE Tijucas o esgoto é submetido ao tratamento preliminar composto de gradeamento, medidor de vazão e desarenador (Figura 5).

Figura 5 - Gradeamento (A) e desarenador (B).



Fonte: Própria autora.

Em seguida o efluente passa pelo tratamento biológico, constituído por dois reatores UASB, dois tanques de aeração e um decantador secundário conforme apresentadas nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 - Tratamento biológico: Reator UASB (A), Entrada de efluente no UASB (B), Tanque de aeração (C) e Aeradores (D).



Fonte: Imagem 6A - Jornal Razão / Tijucas; Imagens 6B, 6C e 6C - Própria autora.

Figura 7 - Decantador secundário



Fonte: Própria autora.

Por fim o efluente tratado é submetido à desinfecção no tanque de contato por meio de cloração e posteriormente lançado no Rio Tijucas situado a 400 metros da estação (Figura 8). É esperado que ao final do tratamento o sistema atinja a eficiência de remoção de DBO e clarificação do efluente de 95%, porém, devido ao curto tempo de operação o tratamento ainda não atingiu essa eficiência.

Figura 8 - Lançamento do efluente tratado.



Fonte: Própria autora.

Segundo Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001) o lodo proveniente dos reatores UASB e UASB + lodos ativados já saem estabele-

zados do próprio tanque, não necessitando de unidades específicas para estabilização.

O sistema de tratamento de lodo é composto por adensamento seguido de desaguamento. O lodo removido do decantador secundário será essencialmente recirculado, retornando ao tanque de aeração através de uma estação elevatória.

A desidratação do lodo será realizada por processo mecânico através de Prensa Desaguadora do Tipo CONTIPRESS com condicionamento com polieletrólito, sendo que este condicionamento será definido quando a produção de lodo se iniciar. Estima-se que o lodo descartado possuirá elevado teor de umidade (superior a 95%), fazendo-se necessário o desaguamento. Ao final do processo de desaguamento de lodo será formada uma “torta de lodo” com concentração de sólidos de aproximadamente 20%.

A Figura 9 apresenta o tanque de adensamento da ETE de Tijucas seguido da Casa de Prensa (ao fundo). No momento a ETE não dispõe de unidade para higienização de lodo, visto que sua destinação final será o aterro sanitário.

Figura 9 - Tanque de adensamento seguido da Casa de Prensa.



Fonte: Própria autora.

5.2. Diagnóstico da produção de lodo

Atualmente a ETE Tijucas não produz lodo pois sua operação foi iniciada em agosto/2016, porém quando houver produção de lodo, este material será encaminhado para o Aterro Sanitário de Biguaçu.

De acordo com o projeto realizado pela empresa MPB Engenharia a quantidade diária de lodo descartado da ETE que deverá ser enca-

minhada para o processo de desidratação é de 921,00 KgSS/dia, ou seja, aproximadamente 84 m³ de lodo/dia (30.240 m³/ano), assim constituída:

- do reator anaeróbio = 17,05 KgSS/dia
- do tanque de aeração = 903,57 KgSS/dia
- soma = 17,05 + 903,57 \cong 921,00 KgSS/dia

Os valores calculados correspondem ao volume total de lodo produzido pela ETE para o final de plano, ou seja, quando o sistema de esgotamento sanitário estiver atendendo praticamente toda a população de Tijucas. A Tabela 5 apresenta os resultados de produção de lodo para o final de plano calculados através das Equações (1) e (2), onde considerou-se um peso específico de 1,02 toneladas por metro cúbico (ton/m³).

Tabela 5 - Quantificação do lodo

Vol. de lodo desaguado (m ³ /ano)	30.240
Teor de sólidos (%)	20
Massa de lodo desaguado (ton/ano)	30.845
Massa de lodo Base Seca (tonMS/ano)	6.169

Fonte: Elaborado pela autora.

As eficiências das unidades do sistema de tratamento de esgoto esperadas para a ETE Tijucas são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Eficiências esperadas na ETE Tijucas

Unidade	Eficiência
Gradeamento	80% retenção de sólidos grosseiros
Desarenador	95% de remoção da areia
UASB	60% de remoção de DBO
Lodos Ativados	89% de remoção de DBO
Decantador Secundário	não informado
Sistema Completo	95% de clarificação do efluente

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.1. Área agrícola necessária para disposição do lodo

Para esta avaliação foi utilizada a metodologia proposta pela Instrução Normativa do Instituto Ambiental do Paraná (IN-IAP, 2003), descrita anteriormente, a qual define que a taxa de aplicação do biossólido não poderá exceder ao aporte máximo de 50 toneladas de massa seca por hectare (tonMS/ha) num prazo de 10 anos.

As doses médias se situam entre 3 a 9 ton/ha de matéria seca para biossólido aeróbio, podendo ser superiores para biossólido de origem anaeróbia, dependendo da composição do produto (ANDREOLI, VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Assim, adotou-se a taxa de aplicação agrícola anual de 5 tonMS/ha, resultando em uma área necessária de 1234 hectares.

- Taxa de aplicação agrícola (IAP-2003): 50 tonMS/ha em 10 anos;
- Taxa de aplicação agrícola anual adotada: 5 tonMS/ha;
- Produção anual de lodo em base seca: 6169 tonMS/ano;
- Área necessária para aplicação: 1234 ha/ano.

5.3. Escolha do local de Instalação da UGL

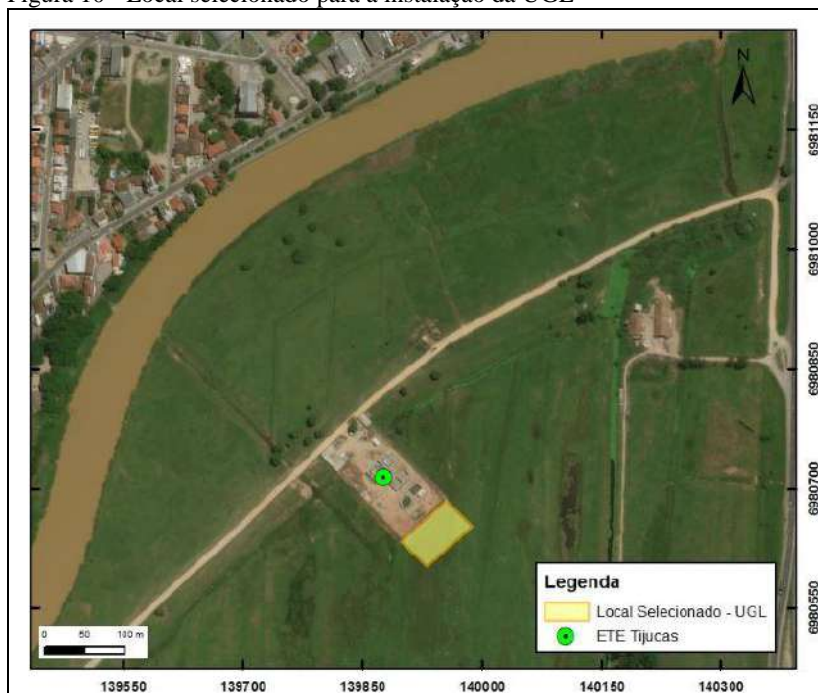
Segundo a Resolução CONAMA n° 375, de 29 de agosto de 2006, Unidades Gerenciais de Lodo – UGL são unidades responsáveis pelo recebimento, processamento, caracterização, transporte e destinação do lodo de esgoto produzido por uma ou mais estações de tratamento de esgoto sanitário. São também responsáveis pelo monitoramento dos efeitos ambientais, agrônômicos e sanitários de sua aplicação em área agrícola.

Levando em consideração que a aplicação em solo agrícola somente poderá ocorrer mediante a existência de uma UGL, que deverá estar devidamente licenciada, faz necessário à sua instalação na região onde está localizada a estação.

O município de Tijucas possui 30.000 habitantes e a ETE Tijucas foi dimensionada para atender toda esta população necessitando de uma UGL que atenda a Estação de Tratamento de Esgoto.

A ETE já está instalada em lugar afastado da população urbana e levando-se em consideração que as áreas adjacentes à estação são utilizadas para pastagem de gado sugere-se que a UGL seja instalada na área situada logo atrás da ETE. A instalação da UGL próxima a Estação proporcionará a minimização dos custos com transporte do lodo e os impactos de vizinhança que esta instalação eventualmente poderá trazer. A Figura 10 mostra a área selecionada para a instalação da UGL.

Figura 10 - Local selecionado para a instalação da UGL



Fonte: Elaborado pela autora.

5.3.2. Higienização do lodo na UGL

Para que o lodo proveniente da ETE Tijucas possa ser reutilizado faz-se necessário a implantação de uma etapa de higienização na UGL. Esta etapa pode ser realizada por diversos métodos. Segundo Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001), a Cal virgem (CaO) é o produto mais indicado quando aplicado a lodos já na fase sólida, por sua capacidade de reagir com a umidade e liberar calor.

A calagem é um dos processos mais eficientes para a eliminação dos patógenos no lodo, além de atuar na estabilização e na desodorização do mesmo (PASSAMANI; GONÇALVES, 1999).

Segundo Fia et al. (2005) quando o processo de higienização é a caleação o lodo tratado também pode ser utilizado para realizar a correção da acidez do solo, o que é necessário na maior parte dos solos do Brasil.

Para este estudo optou-se pela calagem na higienização do lodo na UGL. O bioestabilizado caleado pode apresentar ainda outros benefícios

como diminuir os gastos com fertilizantes, promover a correção do solo dispensando ou diminuindo também o uso de produtos especificamente para esses fins.

5.4. Seleção de áreas agrícolas para a aplicação do biossólido.

As características do solo são fatores imprescindíveis para a realização deste estudo. A Figura 11 apresenta o mapa com as distribuições de tipos de solos da área de estudo.

Os solos predominantes encontrados dentro da área de estudo são do tipo Cambissolo Háplico, Argissolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Litólico com 41%, 20% e 16% de abrangência respectivamente.

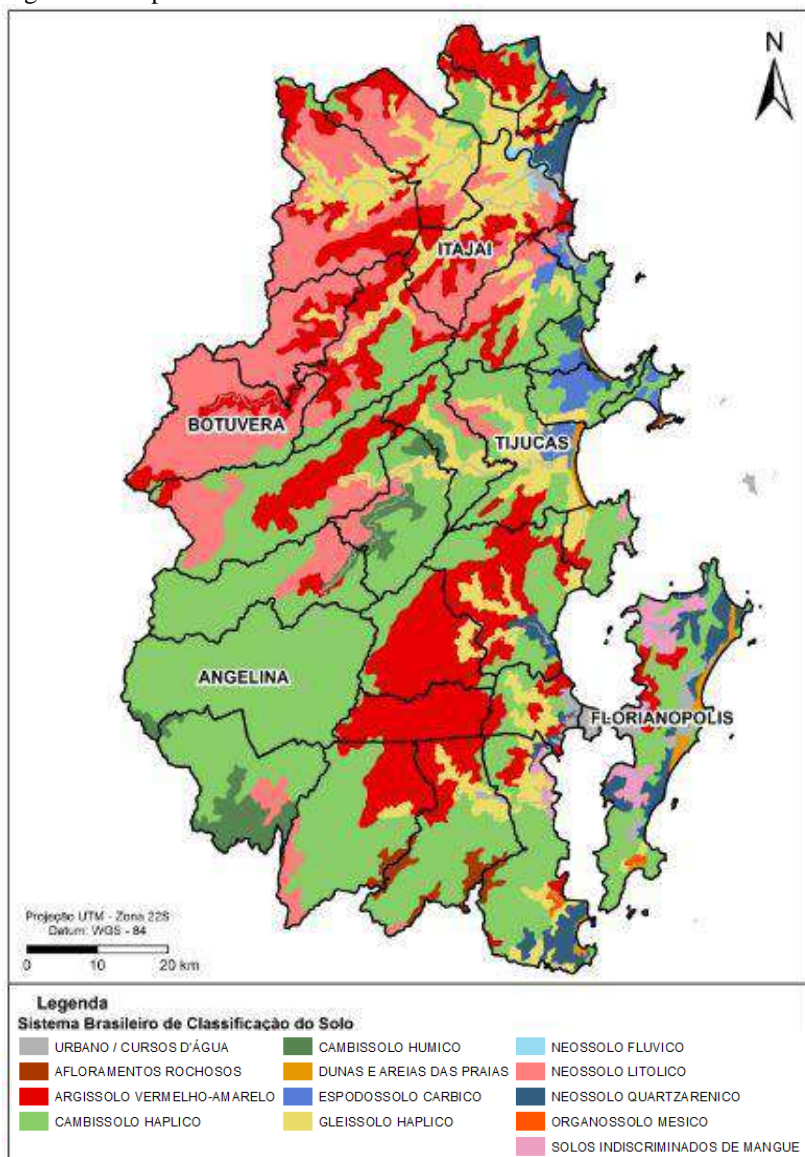
Os Cambissolos Háplicos são os mais abundantes na região, cobrindo uma área de 2832 km². Estes solos são normalmente identificados em relevos fortes ondulados ou montanhosos. Apresentam fertilidade natural variável e possuem como principais limitações para uso, o relevo com declives acentuados, pequenas profundidades e a ocorrência de pedras na massa do solo. O pH destes solos são fortemente ácidos, com valores variando de 4,2 a 5,1 ao longo do perfil (EMBRAPA SOLOS, 2004)

Os Argissolos Vermelho-Amarelo também são encontrados em grande quantidade na área de estudo, cobrindo uma área de 1341 km².

Segundo EMBRAPA (2004), estes solos são medianamente profundos a profundos, moderadamente drenados, textura argilosa e baixos teores de matéria orgânica. Com relação ao pH, são solos fortemente ácidos com valores de pH entre 4,4 e 5,1, tanto na superfície quanto em profundidade.

Outro solo predominante na região é o Neossolo Litólico, que ocupa cerca de 1114 km². Compreendem solos rasos, onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm, estando associados normalmente a relevos mais declivosos. As limitações ao uso estão relacionadas a pouca profundidade, presença da rocha e aos declives acentuados que limitam o crescimento radicular, o uso de máquinas e elevam o risco de erosão. Trata-se de um solo normalmente indicados para preservação da flora e fauna. Em algumas regiões, como por exemplo nos Estados de São Paulo e Minas Gerais, estes solos são utilizados para produção de café, milho, feijão e soja. Em Santa Catarina estes solos normalmente são utilizados na viticultura e no Estado de Rio Grande do Sul são utilizados nas pastagens (EMBRAPA SOLOS, 2004).

Figura 11 - Tipos de solo na área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.3. Análise de aptidão dos solos

Após a aplicação da metodologia descrita anteriormente foi possível elaborar o mapa de aptidão dos solos correspondente à área de estudo (Figura 12). Os mapas que auxiliaram nesta análise encontram-se no APÊNDICE A - Fatores que influenciam na classificação da aptidão dos solos para disposição do lodo de esgoto.

Segundo a IN-IAP/2003 (PARANÁ, 2003), a interpretação da viabilidade de uso do solo deve ser orientada pela Tabela 7.

Tabela 7 - Classes de aptidão das terras para utilização agrícola de lodo e recomendações

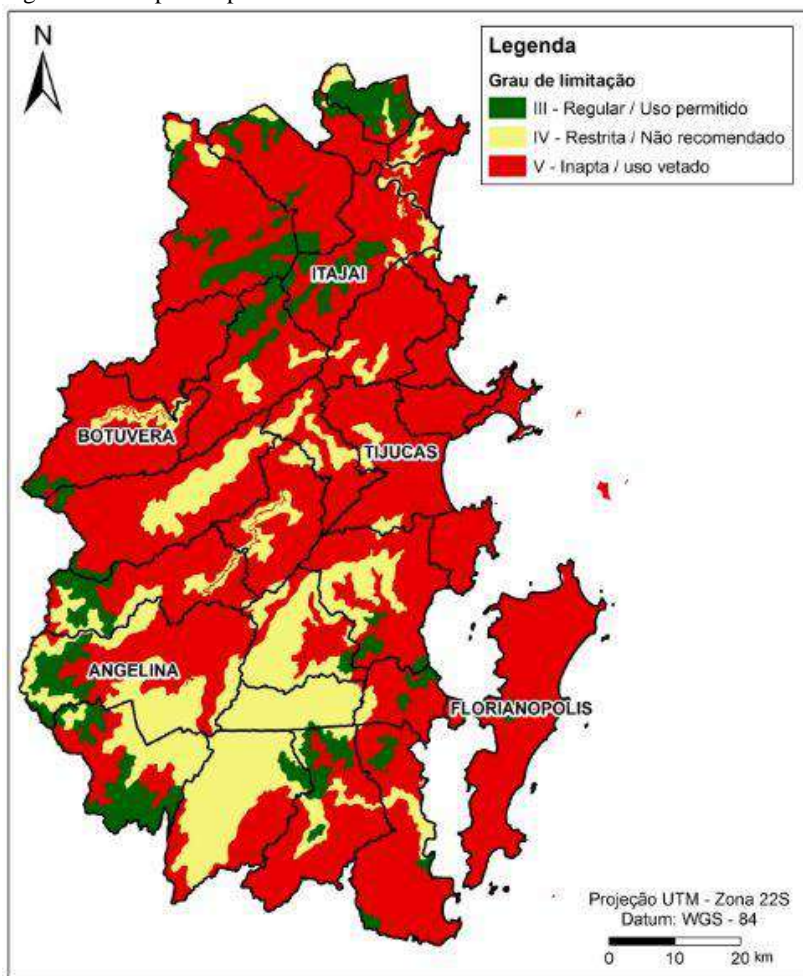
Classe de aptidão	Uso	Recomendação
Classe I	Permitido	Permitida a utilização do lodo de esgoto sem restrições
Classe II		
Classe III		
Classe IV	Não recomendado	Poderá ser permitido o uso mediante apresentação de fatores atenuantes.
Classe V	Vetado	Não deve ser permitida aplicação

Fonte: Adaptado de IN-IAP/2003 (PARANÁ, 2003)

Segundo a Tabela 7 apresentada os solos que se enquadram nas classes I, II e III permitem a aplicação do lodo de esgoto sem restrições.

Sendo assim, foram selecionadas neste estudo as áreas correspondentes a essas classes contabilizando num total de 66.630 hectares, o que equivale a 10% do total de áreas aptas à disposição agrícola do lodo da região. Constatou-se que 70% das terras avaliadas apresentam fortes restrições ambientais e 20% delas o uso de biossólido não é recomendado. Pode-se observar também que não foram encontrados solos de classe I e II para a região analisada.

Figura 12 - Mapa de aptidão dos solos



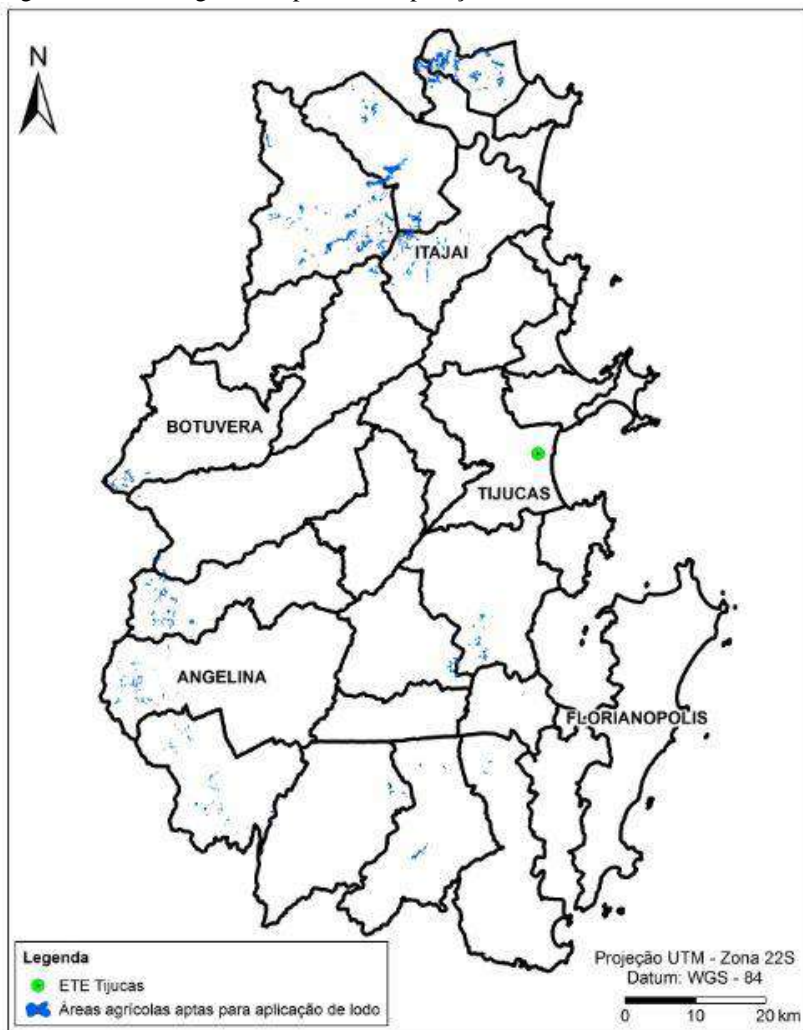
Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.4. Avaliação das áreas agrícolas aptas a incorporação do lodo

Para esta avaliação foi realizada a intersecção das áreas agricultáveis da região com as áreas que se enquadravam dentro da classe III (uso permitido) obtendo-se, desta forma, as áreas agrícolas aptas a incorporação do lodo.

Estas áreas somam cerca de 5.400 hectares equivalentes a 11% de toda a área agrícola da região. A Figura 13 apresenta o resultado das Áreas agrícolas aptas a incorporação do lodo.

Figura 13 - Áreas agrícolas aptas a incorporação do lodo.



Fonte: Elaborado pela autora.

De posse destas informações foram selecionadas as áreas que realmente serão utilizadas para a destinação do lodo.

A seleção foi realizada com base em um estudo feito por Ilhenfeld, Pegorini e Andreoli (1999), o qual define as áreas viáveis para receber as cargas de lodo caleado levando em consideração o valor fertilizante do bio sólido, ou seja, as quantidades equivalentes de NPK.

O estudo relaciona a concentração de sólidos no lodo com a distância viável que este lodo poderá percorrer. Sendo que, para lodos com 20% de sólidos (concentração do lodo da ETE Tijucas) o raio de distância viável é de 40 km. Ainda segundo o mesmo autor, os custos com transporte de lodo da UGL até a área de produção agrícola, é o maior fator limitante para a viabilidade do seu uso. Esta análise leva em conta essencialmente o aspecto econômico, pois para distâncias muito grandes os custos serão também elevados.

Diante destas considerações, foi traçado um raio de 40 km tendo como ponto central o local de instalação da UGL (Figura 14). Dentro deste raio foram selecionadas as áreas agrícolas com viabilidade para recebimento do lodo, cujos valores, por município, foram extraídos dos polígonos e apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Áreas agrícolas selecionadas por município

	Município	Área (hectare)
1	Antônio Carlos	93,31
2	Biguaçu	184,02
3	Brusque	57,75
4	Gaspar	392,95
5	Guabiruba	0,98
6	Ilhota	221,51
7	Itajaí	535,27
8	São Jose	4,53
	Total de áreas selecionadas	1490,32

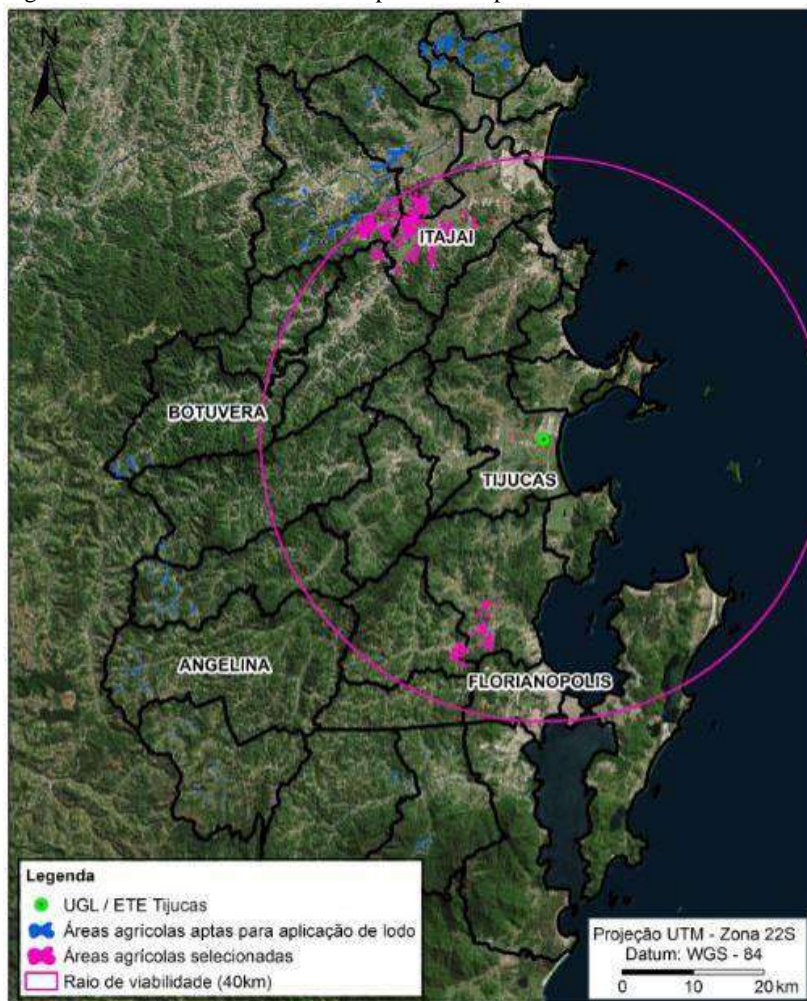
Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que 8 municípios possuem áreas com disponibilidade agrícolas para disposição do lodo, sendo que Itajaí, Gaspar, Ilhota e Biguaçu são os que apresentam as maiores áreas agrícolas com viabilidade para recebimento do lodo.

Os solos encontrados são do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa e pH ácido. Estas características favorecem a aplicação do lodo caleado na região.

O processo de caleação é um dos processos mais utilizados para a desinfecção do lodo pois apresenta alta ação desinfetante, fácil aplicação e baixo custo.

Figura 14 – Raio de distância viável para o transporte do lodo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme apresentado na Tabela 8, o total de áreas agrícolas selecionadas para receber a aplicação do lodo de esgoto foi de 1490 hecta-

res, sendo que a demanda encontrada para este estudo foi de 1234 hectares (item 5.2.1).

Verifica-se, dessa forma, que as áreas disponíveis superam a necessidade e, portanto, a utilização dessa técnica para a ETE Tijucas se mostra viável do ponto de vista técnico e também ambiental. Na Tabela 9 são apresentados os valores de áreas com maior relevância neste estudo.

Tabela 9 - Resultado da quantificação das áreas estudadas

Total de áreas agrícolas na região de estudo	49238	ha
Total de terras aptas ao recebimento de biossólido	66630	ha
Áreas agrícolas aptas	5400	ha
Áreas agrícolas aptas selecionadas	1490	ha
Área necessária para a disposição do biossólido produzido na ETE Tijucas	1234	ha

Fonte: Elaborado pela autora.

A aplicação do biossólido na agricultura apresenta inúmeras vantagens para o meio ambiente. Na composição do lodo de esgoto, normalmente encontra-se em grande quantidade três elementos essenciais para o solo: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Estes elementos químicos também estão presentes nos adubos químicos e fertilizantes utilizados nas lavouras.

O biossólido enquanto insumo agrícola fornece matéria orgânica e nutrientes fundamentais ao crescimento vegetal (CARVALHO et al., 2016), o que implica em enriquecimento dos solos por meio do melhoramento das condições físico químicas e biológicas do mesmo.

Sendo assim, entende-se que ao utilizar o biossólido nas áreas agrícolas, são incorporados novamente ao solo, a ciclagem de nutrientes, devolvendo a natureza aquilo que retiramos, fechando o ciclo e contribuindo assim com a sustentabilidade do meio ambiente.

Cabe ressaltar que não foi possível caracterizar o lodo da ETE Tijucas, visto que, a ETE ainda não realizou disposição de lodo devido ao curto tempo de operação. Assim, os cálculos apresentados baseiam-se nas estimativas de projeto da ETE em estudo.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que:

- A ETE Tijucas constituída de UASB + Lodos Ativados encaminhará um lodo biológico estabilizado que pode ser tratado e, mediante análise, disponibilizado em solos agrícolas;
- Foi possível quantificar a geração de lodo descartado na ETE Tijucas, contabilizando uma produção de aproximadamente 84 m^3 de lodo/dia ($30.240 \text{ m}^3/\text{ano}$);
- A composição do bio sólido beneficia o enriquecimento do solo melhorando suas condições físicas, químicas e biológicas, além de promover a redução de custos para os produtores agrícolas;
- Por meio dos resultados das análises dos solos verificou-se que a demanda encontrada supre a necessidade de aplicação do lodo proveniente da ETE de Tijucas comprovando que a disposição do lodo é viável, tanto do ponto de vista técnico quanto ambiental;
- A metodologia utilizada para a elaboração do mapa de aptidão dos solos à aplicação de lodo de esgoto na região de estudo se mostrou coerente e aplicável. O mapa gerado para a região de Tijucas/SC, pode ser usado como consulta auxiliar na tomada de decisão dos gestores;
- O estudo das áreas aptas a disposição do lodo possibilitou constatar sua viabilidade técnica e ambiental nas áreas agrícolas da região de Tijucas /SC. Dentre os benefícios já mencionados, a sustentabilidade através do seu reaproveitamento na agricultura reproduz os processos da natureza, ou seja, ao aplicar o bio sólido são incorporados novamente ao solo a ciclagem de nutrientes, devolvendo a natureza aquilo que retiramos, fechando o ciclo e contribuindo assim com a sustentabilidade do meio ambiente.

7. RECOMENDAÇÕES

Como recomendação sugere-se:

- Realizar estudos complementares para a seleção das áreas para a aplicação do lodo de esgoto, considerando, as características reais do lodo produzido da ETE Tijucas e consequentemente do solo onde este bio-sólido será aplicado.
- Elaborar um estudo econômico quantificando os materiais, serviços necessários e seus respectivos custos de implantação de forma a verificar a viabilidade econômica da aplicabilidade do uso do bio-sólido proveniente de ETE Tijucas nas áreas agricultáveis das cidades que circundam a região.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e produção de lodo. In: **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 7 – 40
- ANDRADE NETO, C.O. e CAMPOS, J.R. Introdução. In: **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. CAMPOS, J.R. (coordenador), Rio de Janeiro, RJ: ABES, 1999. Cap. 1, p. 1 – 28.
- ANDREOLI, C.V.; BARRETO, C.L.G.; BONNET, B. R. P. et al. **Tratamento e disposição final de lodo de esgoto no Paraná**. Sana-re, Curitiba, 1994. v.1, n.1, p. 10-16,
- ANDREOLI, C. V. et al. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), 1999. 98 p.
- ANDREOLI, C. V.; PINTO, M. A. T. Processamento de lodos de estações de tratamento de esgoto (ETE). In: **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. PROSAB. Curitiba: ABES, 2001.
- ANDREOLI, C. V., TAMANIN, C. R., HOLSBACH, B., PEGORINI, E. S., NEVES, P. S. Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal. In: **Biossólidos - alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Editora ABES 2006.
- ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. **Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final**. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2001. 483 p.
- BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. IN: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. de. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

- BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120 p.
- BITTENCOURT, S. **Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no Estado do Paraná: aplicabilidade da resolução CONAMA 375/06**. 220 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. Brasília, DF, 2006.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Agenda 21. Brasília, DF, 1992.
- CANADÁ. Environmental Protection Service. **Manual for land application of treated municipal wastewater and sludge**. Ontário: EPS, p. 6 –84, 1984.
- CARVALHO, L. C. C. S.; LEE, L. T.; SANTOS, F. S. **Lodo de Esgoto e seu Potencial uso Agrícola**: Revisão Bibliográfica. 1º Seminário de Políticas Públicas e Meio Ambiente. Rio de Janeiro, 2016.
- CETESB. – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas**. Critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. (Norma, P.4230)
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR: **Manual Técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba. Sanepar, 1997. 96 p.
- DIAZ, L.F. SAVAGE, G.M.; EGGERTH, L.L.; GOLAEKE, C.G. **Composting and Recycling Municipal Solid Waste**. Boca Raton, Lewis Publishers, 1993.

EMBRAPA SOLOS (Rio de Janeiro). **Solos do Estado de Santa Catarina**: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 46. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 745 p.

ESTADOS UNIDOS. **Environmental Protection Agency**. A plain english guide to the EPA part 503 biosolids rule. Washington, DC, 1994.

FARIA, L. C. **Fertilização de povoamentos de eucalipto com biossólido da Ete de Barueri, SP: demanda potencial e nível mínimo de resposta**. 2000. 85 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Editores BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap. 3, p. 45 – 67.

FERNANDES, F (coord.) Manual prático para a compostagem de biossólidos. In: **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. PROSAB, 1999.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; JURGENSEN, D. Produção e características dos biossólidos. In: **PROSAB. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: PROSAB, 1999. p.16-25.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Produção e características dos biossólidos. In: ANDREOLI, C. V. **Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: PROSAB, 1999. Cap. 1 p. 8 – 17.

FIA, R.; MATOS, A. T. de; AGUIRRE, C. I. **Características químicas de solo adubado com doses crescentes de Lodo de esgoto caledado**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.13, n.4, 287-299, Out./Dez., 2005

GEOAMBIENTE, PPMA-SC/KFW/FATMA. **Mapeamento Temático Geral do Estado de Santa Catarina**. Relatório Técnico: GEO RLTC0715-33608-01. São Paulo: FATMA, 2008. 90p.

- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GONÇALVES, R. F.; LIMA, M. R. P.; PASSAMANI, F. R. F. **Características Físico – Químicas e Microbiológicas do lodo de lagoas**. Capítulo 4. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal do Espírito Santo, 1999, 79p.
- GRIFFIN, R.A.; LUE-HING, C.; SIEGER, R.B.; UHTE, W.R.; ZENZ, D. Municipal Sewage Sludge Management at Dedicated Land Disposal Sites and Landfills. In: C. LUE-HING et al. (comp.), **Water Quality Management Library - Volume 4: Municipal Sewage Sludge Management: A Reference text on Processing, Utilization and Disposal**. 2ª ed., Lancaster, Technomic Publishing Company Book, 1998, p. 409-486.
- GUIMARÃES, G. C. **Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA-Brasília**. Dissertação (mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. 2007.
- HALLEY, E.; MILLER, G. A. “Backward” approach to sludge management. **Water Engineering & Management**. v. 9, p. 36-39, 1991.
- ILHENFELD, R. G. K. Higienização do lodo de esgoto. In: **Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: PROSAB, 1999. Cap. 4 p. 27 – 40.
- ILHENFELD, R. G. K.; PEGORINI E. P.; ANDREOLI, C. V. Fatores limitantes. In: **Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: PROSAB, 1999. Cap. 5 p. 41 – 61.
- JORDÃO, E.P; PESSOA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3.ed., Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 1995 – 681 p.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro, ED – ABES, 2005.

LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. **Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, and Biosolids Management: Moving Forward the Sustainable and Welcome uses of a Global Resource.** United Nations Human Settlements Programme (UNHABITAT) ISBN: 978-92-1-132009-1. 2008.

LOBATO FARIA, A. **Tecnologia do confinamento de resíduos urbanos em grandes aterros.** Águas e Resíduos, 1997. 5: 22-26.

LUDUVICE, M.; FERNANDES, F. Principais tipos de transformação e descarte do lodo. In ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. (Ed.) **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Belo Horizonte: UFMG/ Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 6v. cap 9.

MACKENZIE, L. D. **Water and wastewater engineering: Design principles and practice.** Ed. McGraw-Hill Companies. 2010.

MALTA, T. S. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras – RJ.** 2001, 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz/ENSP, Rio de Janeiro, 2001.

MANZOCHI, C. I. S. **Logística para tratamento e disposição final de lodos de ETE's visando reciclagem agrícola.** 2008. 331 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Editores BETTIOL, W. e AMARGO, O.A. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap. 1, 11-24.

METCALF; EDDY, INC. **Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse.** New York: Ed. McGraw-Hill, 2002. 1334 p.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4.ed. New York: McGraw-Hill, 1819 p. 2003.

- MIKI, M. K. Capítulo 3: Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T. et al. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. 1. ed. São Paulo: ABES/SP, 2001. p. 41-88.
- NICOLL, E.H. **Small water pollution control works - design and practice**. Ellis Horwood Limited, England, 1989. 502 p.
- O'DETTE, R. G. **Biossolids and residuals tretment and management aptions: a comparative cost evaluation**. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambientel. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1999. P. 4106-4114.
- PARANÁ (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instituto Ambiental do Paraná. **Instrução Normativa, 2003**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental para utilização agrícola de Lodo de Estações de Tratamento de Efluentes Domésticos (ETE). Curitiba, 2003.
- PASSAMANI, F. R. F.; KELLER, R.; GONÇALVES, R. F. **Higienização de lodo utilizando Caleagem e Pasteurização em uma Pequena Estação de Tratamento de Esgoto combinando reator UASB e Biofiltro aerado submerso**. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental, Cancun: México, 2002.
- PEDROZA, J. P.; VAN HAANDEL, A. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; DIONÍSIO, J. A.; DUARTE, M. E. M. **Qualidade tecnológica da pluma do algodoeiro herbáceo cultivado com biossólidos**. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, v.10, p.586-592, 2006.
- PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA, M. L. de P.; FERREIRA, A. **Qualidade do Lodo de esgoto utilizado na Reciclagem Agrícola na Região Metropolitana de Curitiba – PR**. In: I Simpósio Latino Americano de Biossólidos. Anais. São Paulo, jun., 2003.
- PEGORINI, E. S. **Avaliação de impactos ambientais do programa de reciclagem agrícola de lodo de esgoto na região metropolitana de Curitiba**. 2002. 236 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de A-

gronomia, Departamento de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba, 2002.

PEREIRA NETO, J.T. **Conceitos Modernos de Compostagem**. Engenharia Sanitária, 1989. v.28, n.3, p. 104-09.

POGGERE, G. C.; SERRAT, B.M.; MOTTA, A.C.V.; BITTENCOURT, S.; DALPISOL, M.; ANDREOLI, C.V. **Lodos de esgoto alcalinizados em solos do estado do Paraná : taxa de aplicação máxima anual e comparação entre métodos para recomendação agrícola**. p. 429–438, 2012.

SANTOS, A. D. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo**. São Paulo: USP, 2003.

SANTOS, G. C. G. DOS; RODELLA, A. A. **Utilização do Biossólido na Caesb na Produção de Milho no Distrito Federal**. Revista Brasileira de Ciências dos Solo, v. 31, n. 2, p. 793– 804, 2007.

SOUZA, M. L. P.; RIBEIRO, A.N.; ANDREOLI, C.V.; SOUZA, L.C. de P.; BITTENCOURT, S. **Aptidão das terras do estado do Paraná para disposição final do lodo de esgoto**. Revista DAE, São Paulo: Cia de Saneamento do Estado de São Paulo, n. 177, ano LXXI , p. 20 - 29, maio 2008.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Avaliação agrônômica de um biossólido industrial**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, n. 3, p.261-269, 01 mar. 2005.

TSUTIYA, M. T. Capítulo 4: Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T. et al. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. 1. ed. São Paulo: ABES/SP, 2001. p. 89-132.

TSUTIYA, M. T. Metais Pesados: **O Principal Fator Limitante Para o Uso Agrícola de Biossólidos das Estações de Tratamento de Esgotos**. ABES – 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro; 1999. (VON SPERLING, 1996; MELO e MARQUES, 2000).

- VAN HAANDEL, A. C.; ALEM SOBRINHO, P. Produção, composição e constituição de esgoto. In: **Biossólidos – Alternativas de Uso de Resíduos de Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417p.
- VIANA, E. **Resíduos alimentícios de lixo domiciliar**: coleta, processamento, caracterização e avaliação da viabilidade como um ingrediente para ração de frangos de corte. 1999. 164 p. Tese (Doutorado)
- VON SPERLING, M. V.; ANDREOLI, C, V. Introdução. In: ANDREOLI et al. **Lodos de esgotos**: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2001, cap. 1, p. 13-16.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. v. 1, Belo Horizonte: SEGRAC. 1996, 243 p.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452 p.

APÊNDICE A – Fatores que influenciam na classificação da aptidão dos solos para disposição do lodo de esgoto.

Todas as figuras presentes neste apêndice foram elaboradas pela autora.

Figura 1 - FATOR SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

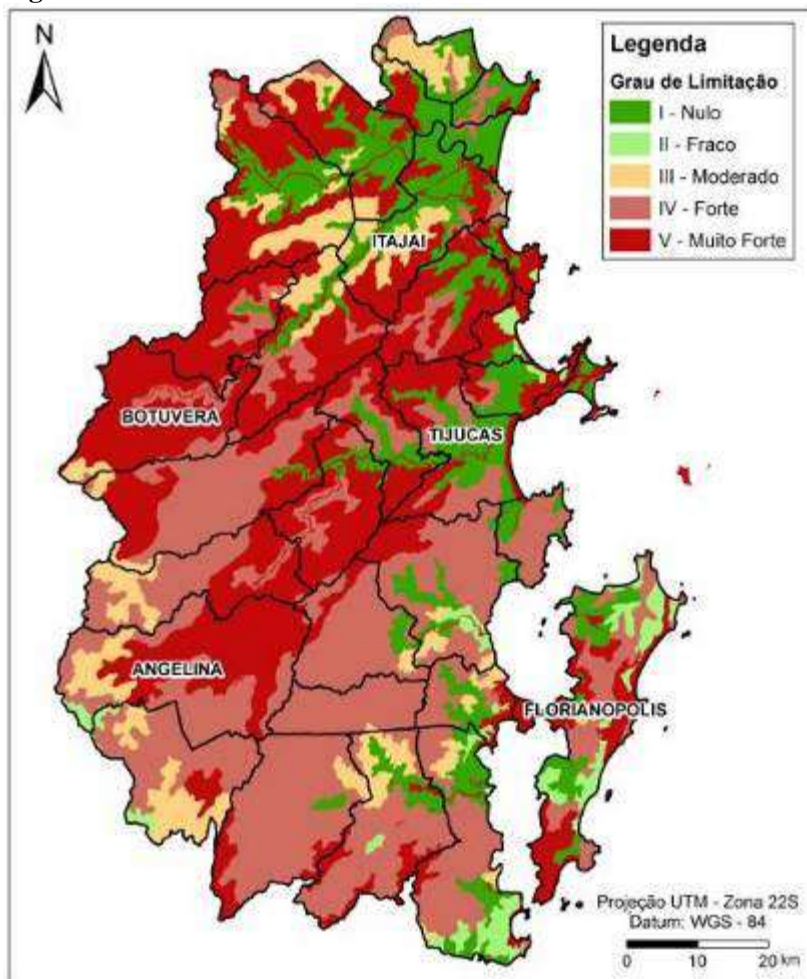


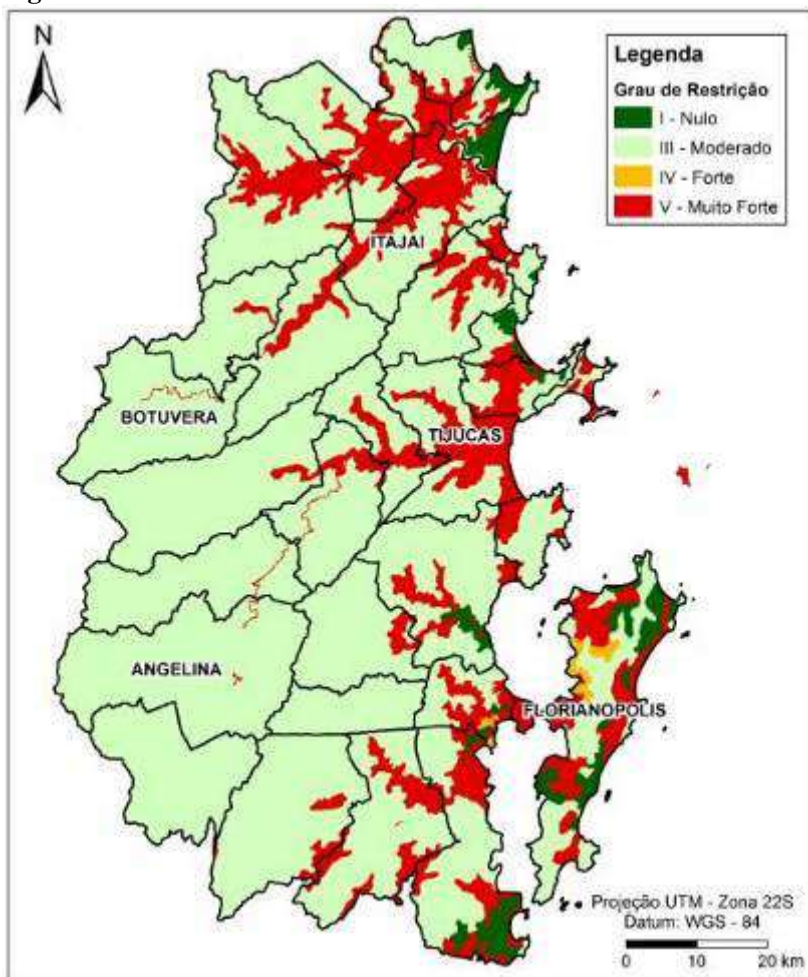
Figura 2 - FATOR DRENAGEM

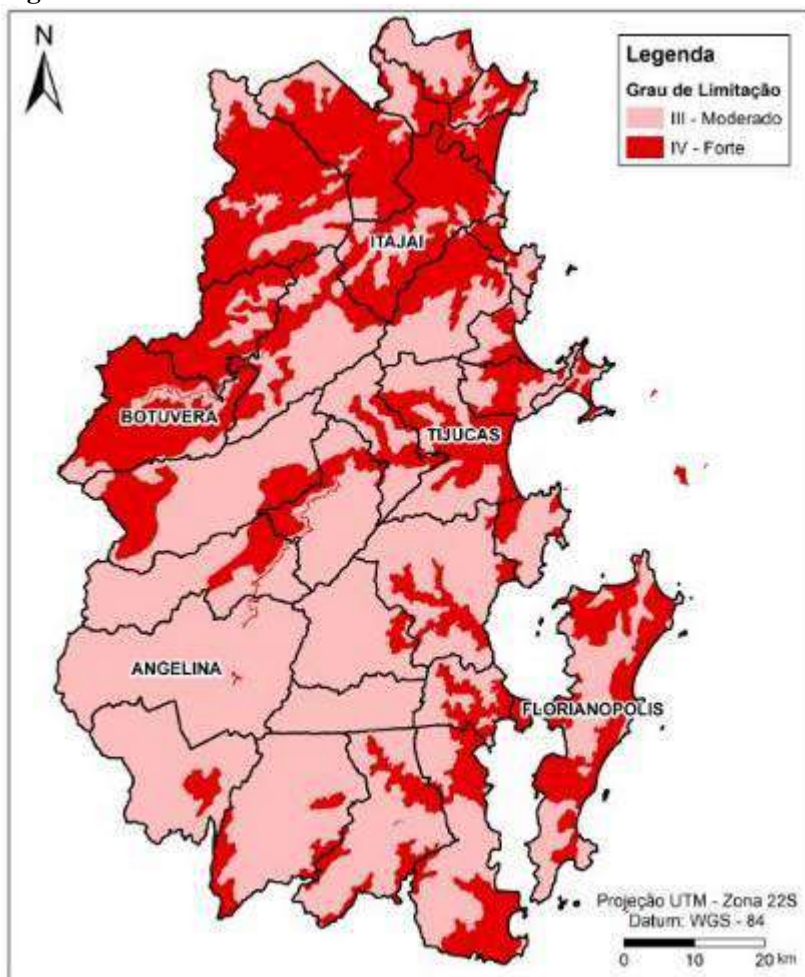
Figura 3 - FATOR PROFUNDIDADE

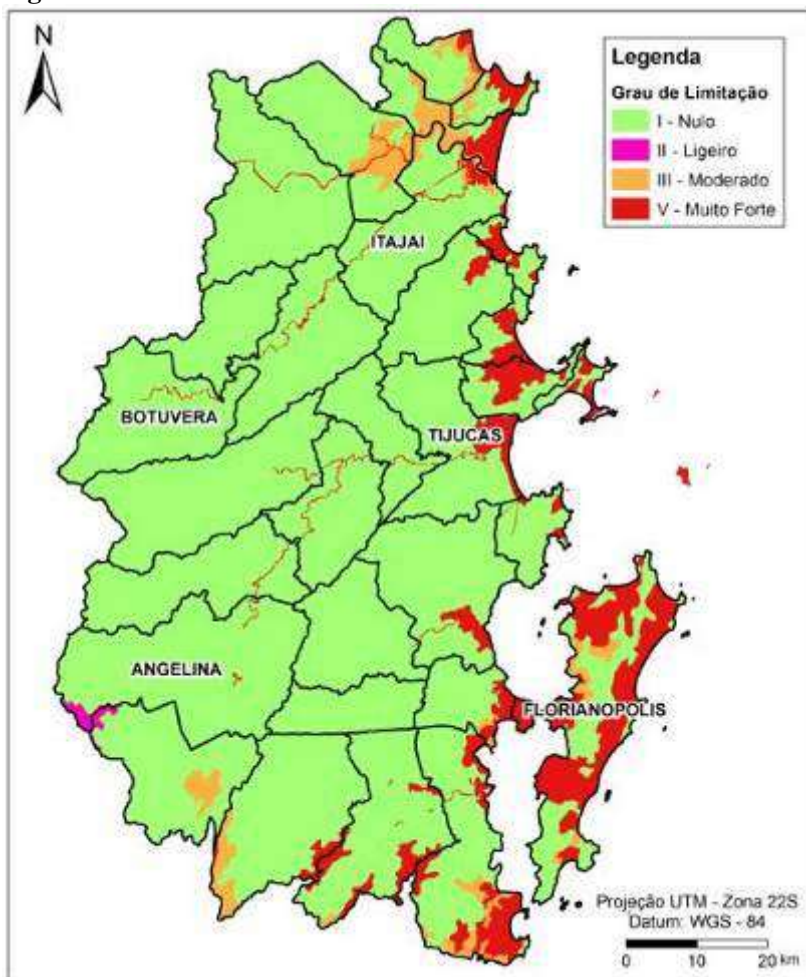
Figura 4 - FATOR TEXTURA

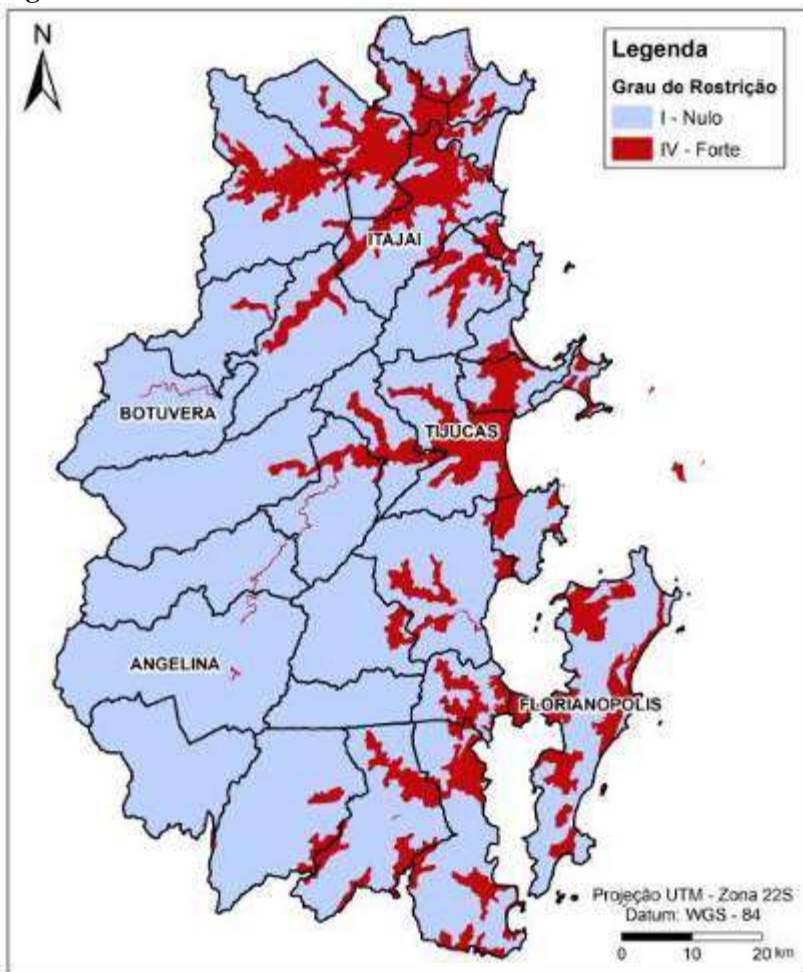
Figura 5 - FATOR HIDROMORFISMO

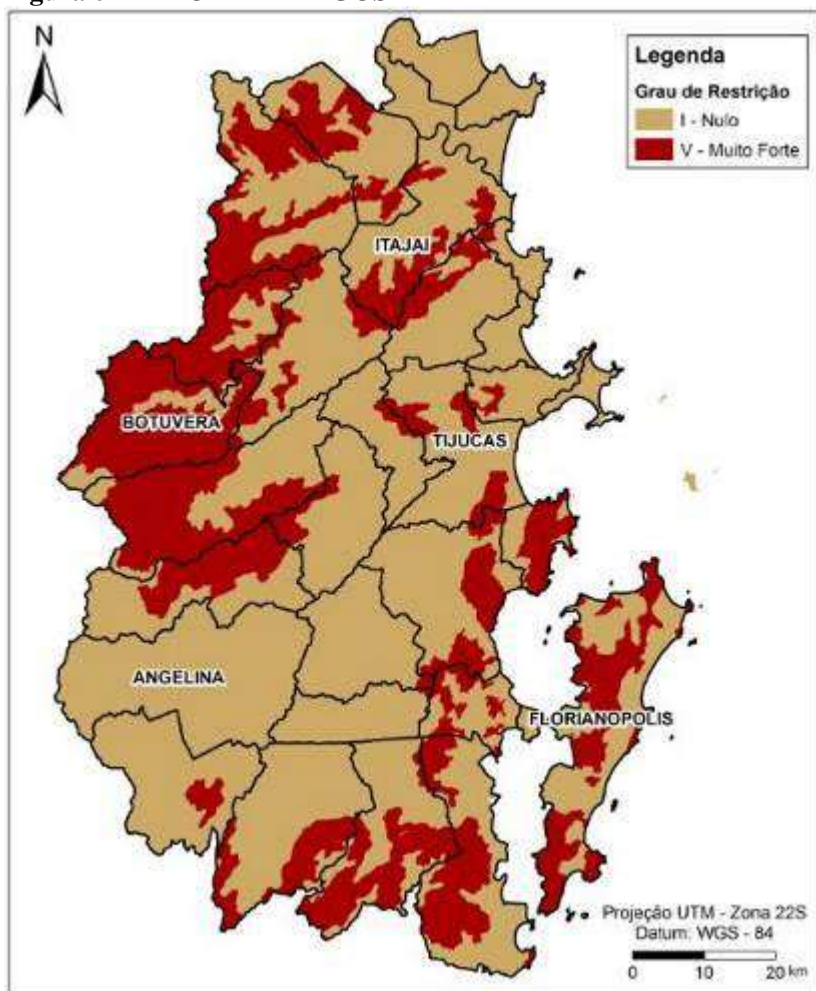
Figura 6 - FATOR PEDREGOSIDADE

Figura 7 - FATOR RELEVO